

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh čerpadel pro dopravu pitné vody mezi ČS Lužná a vodojemem Lužná

Design of Pumps for the Drinking Water Transport between the Pumping Station
Lužná and Water Reservoir Lužná

Student:

Jan Kocur

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student:	Jan Kocur
Studijní obor:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma:	Návrh čerpadel pro dopravu pitné vody mezi ČS Lužná a vodojemem Lužná Design of Pumps for the Drinking Water Transport between the Pumping Station Lužná and Water Reservoir Lužná

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh nového strojního vybavení Čerpací stanice Lužná s ohledem na morální a fyzické opotřebení stávajících čerpadel a změnu skutečné potřeby pitné vody.

1. Popište stávající zařízení čerpací stanice Lužná
2. Proveďte hydraulický výpočet hydrodopravního systému pro nové podmínky
3. Vyberte vhodná čerpadla pro daný účel a definované parametry čerpání
4. Posudte možnost řízení provozu paralelní spolupráci čerpadel a otáčkovou regulaci.

Seznam doporučené odborné literatury:

- JANALÍK, J., ŠTÁVA, P. *Mechanika tekutin*. Skripta VŠB – TU Ostrava, 2001.
- PACIGA, A. a kol. *Čerpací technika*. SNTL Praha.
- BLÁHA, J., BRADA, K. *Příručka čerpací techniky*. ČVUT Praha, 1997
- BLÁHA, J., BRADA, K. *Hydraulické stroje*. SNTL Praha, 1992
- PIVODA, B., ŠÁLEK, J. *Čerpací stanice*. SNTL Praha, 1982
- KROUZA, V. *Čerpadla odstředivá a jim příbuzná*. ČSAV Praha, 1956.
- STRÝČEK, O. GANČO, N. *Čerpadla (hydraulický výpočet konstrukce)*. Bratislava, 1978.
- BRETTSCHEIDER, A. a kol. *Příručka čerpací techniky*. SNTL Praha, 1968.
- Firemní literatura.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: prof. Ing. Jaroslav Janalík, CSc.

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



Kozubková

doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry

Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOCUR, J. *Návrh čerpadel pro dopravu pitné vody mezi ČS Lužná a vodojemem Lužná: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010, 48 s. Vedoucí práce: Drábková, S.

Bakalářská práce se zabývá zmapováním současného stavu čerpání vody z ČS Lužná do vodojemu Lužná a návrhem nového strojního vybavení Čerpací stanice Lužná. V úvodu bakalářské práce je popsána lokalita, ve které se ČS Lužná nachází, a její funkce v zásobování obyvatel pitnou vodou. Následuje výpočet charakteristiky potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná. Na základě hydraulického posouzení systému je proveden alternativní výběr nových čerpadel, která odpovídají požadavkům na množství dopravované pitné vody a měrnou energii. Je posouzena jejich paralelní spolupráce. Ve výpočtech se prokáže výrazná úspora elektrické energie v průběhu následujících deseti let při volbě menšího čerpadla. Opačným příkladem je snaha regulovat parametry čerpání frekvenčním měničem otáček čerpadla. Investice by se nevrátila na ušetřené elektrické energii ani do dvanácti let.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOCUR, J. *Design of Pumps for the Drinking Water Transport between the Pumping Station Lužná and Water Reservoir Lužná: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2010. 48 p. Thesis head: Drábková, S

The Bachelor thesis is dealing with the investigation of the pumping system consisting of the Pumping Station Lužná and Water Reservoir Lužná, and the proposal of the new pumping equipment. At the beginning the pumping system and its performance in drinking water supply is described and the system curve is investigated. Based on system requirements, alternative proposal of new centrifugal pumps follows. The operating of two identical pumps in parallel is considered. The calculation of operation costs in case of smaller pumps shows the significant energy savings in the next ten years. On the opposite, pumping system with adjustable speed control will not be effective and the investment will not be covered during the next twelve years.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
0 Úvod	10
1 Popis čerpací stanice Lužná a vodojemu Lužná	11
2 Charakteristika potrubního systému	14
2 . 1 Teoretická část charakteristiky potrubního systému	14
2 . 2 Charakteristika potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná	15
2 . 3 Graf charakteristiky potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná	17
3 Hydrodynamická čerpadla	17
3 . 1 Popis navržených a stávajících čerpadel:	18
3 . 2 Výpočet výkonu a účinnosti hydrodynamických čerpadel	20
4 Pracovní bod systému	20
4 . 1 Výpočet pracovního bodu systému ČS Lužná s čerpadly Grundfos CV 125-30.....	21
4 . 2 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Grundfos CV 125 - 30.....	22
4 . 3 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Grundfos CR 120 6-1.....	23
4 . 4 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Vogel Pumpen MPV 125	24
5 Tabulky pracovních parametrů čerpadel v systému ČS Lužná	25
6 Regulace parametru hydraulického systému (změna provozního bodu)	26
6 . 1 Regulace systému změnou otáček čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6	27
6 . 2 Grafy charakteristik čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při změně otáček	28
6 . 3 Tabulky pracovních bodů čerpadla, při změně otáček	29
6 . 4 Paralelní spolupráce čerpadel	29
7 Čerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná a odběr pitné vody z VDJ Lužná	31
8 Srovnání čerpadel	35
9 Závěr	39
10 Použité zdroje a literatura	41
11 Přílohy	42

Speciální příloha – CD

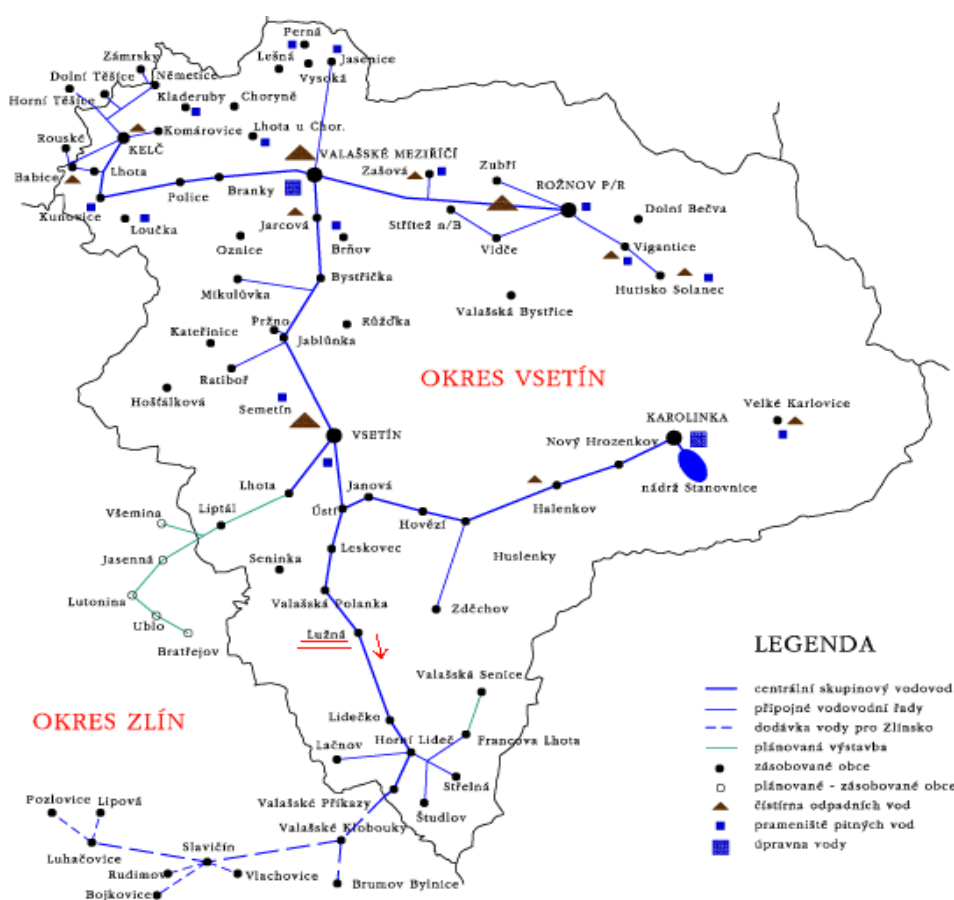
Seznam použitých značek a symbolů

a	<i>koeficient v Churchilově vzorci</i>	$[-]$
b	<i>koeficient v Churchilově vzorci</i>	$[-]$
d	<i>průměr</i>	$[m]$
g	<i>gravitační zrychlení</i>	$[m \cdot s^{-2}]$
k	<i>drsnost potrubí</i>	$[m]$
n	<i>otáčky</i>	$[min^{-1}]$
v	<i>rychlost proudění kapaliny</i>	$[m \cdot s^{-1}]$
C	<i>celkové náklady na čerpání</i>	$[Kč]$
E	<i>cena elektrické energie</i>	$[Kč \cdot kWh^{-1}]$
H	<i>dopravní výška</i>	$[m]$
H_g	<i>geodetická výška</i>	$[m]$
K	<i>cena 1 m³ pitné vody</i>	$[Kč \cdot m^{-3}]$
P_1	<i>příkon</i>	$[kW]$
P_2	<i>příkon dvou paralelně pracujících čerpadel</i>	$[kW]$
Q_m	<i>hmotnostní průtok</i>	$[kg \cdot s^{-1}]$
Q_n	<i>jmenovitý průtok</i>	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_v	<i>objemový průtok</i>	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Re	<i>Reynoldsovo číslo</i>	$[-]$
S	<i>plocha</i>	$[m^2]$
V	<i>objem</i>	$[m^3]$
W	<i>práce</i>	$[kWh]$
Y_n	<i>jmenovitá měrná energie</i>	$[J \cdot kg^{-1}]$
$Y_{(p)}$	<i>měrná energie potrubí</i>	$[J \cdot kg^{-1}]$

$Y_{(\check{c})}$	<i>měrná energie čerpadla</i>	$[J\ kg^{-1}]$
$Y_{(\check{c})par.\ spol}$	<i>měrná energie, při paralelní spolupráci čerpadel</i>	$[J\ kg^{-1}]$
Y_s	<i>skutečnou měrnou energii</i>	$[J\ kg^{-1}]$
Y_{stat}	<i>statická měrná energie</i>	$[J\ kg^{-1}]$
Y_t	<i>teoretickou měrnou energii</i>	$[J\ kg^{-1}]$
Y_z	<i>ztrátová měrná energie</i>	$[J\ kg^{-1}]$
$\sum \xi$	<i>suma místních ztrát</i>	$[-]$
ε	<i>relativní drsnost stěny potrubí</i>	$[-]$
η	<i>účinnost</i>	$[\%]$
λ	<i>součinitel tření</i>	$[-]$
ν	<i>kinematická viskozita</i>	$[m^2 \cdot s^{-1}]$

0 Úvod

Pitná voda patří k základním životním potřebám a její odpovídající příjem je nejen podmínkou pro správné fungování všech procesů v lidském těle, ale přispívá i k duševní pohodě člověka. Voda je pro většinu lidí ve vyspělých průmyslových státech naprostou samozřejmostí. Kvalitní pitná voda je dostupná prakticky kdekoli a kdykoli, ale málo kdo ví, jakou cestu musí tato voda urazit od zdroje ke spotřebiteli a jakým procesům musí být podrobena, abychom ji mohli označit jako vodu pitnou. Hlavním prvkem v dopravě pitné vody jsou čerpací stanice, popřípadě čerpadla umístěná v čerpacích stanicích a instalována do vodovodního potrubí. Čerpadla překonávají hydraulické odpory při proudění reálné kapaliny, ale také zvyšují tlakovou a polohovou energii kapaliny, abychom mohli dostat pitnou vodu takřka kdekoli. Jedna taková čerpací stanice z mnoha set tisíc na světě, která nám pomáhá dodávat pitnou vodu až domů, se nachází u vesničky Lužná asi 11 km jižně od města Vsetín v CHKO Beskydy [5]. Jejím úkolem je zvýšit polohu dopravované pitné vody o 135.4 metrů, aby mohla pitná voda dále pokračovat ke svým 33 tisícům spotřebitelům. Na (viz. Obr. 1. 1.) je zobrazena mapa vodovodních tras ve Vsetínském okrese a část okresu Zlínského, kde je podtrženo místo čerpací stanice Lužná. Je také možno vidět, do kterých obcí je pitná voda prostřednictvím ČS Lužná dopravována.



Obr. 1. 1 - Vodovodní trasy Vsetínského a Zlínského okresu

1 Popis čerpací stanice Lužná a vodojemu Lužná

Z vodní nádrže Stanovnice o ploše 50 ha a objemem 7,5 mil. m³ vody se dopravuje pitná voda přes úpravnu vody Karolinka do ČS Lužná [6]. Pitná voda je dopravována potrubím o světlosti DN 500 do akumulární nádrže o objemu 1000 m³. Dno strojovny a akumulární nádrže se nachází v nadmořské výšce 399,3 m. n. m. Hladina vody v akumulární nádrži je regulována v rozmezí hladin 2,9 m až 3,9 m. Průměrná výška hladiny v akumulární nádrži za rok 2009 je 3,4 m. Stávající vertikální čerpadla pracují s negativní sací výškou. Z akumulární nádrže se pitná voda dopravuje k čerpadlům jedním potrubím o světlosti DN 500. Čerpadla jsou na zmíněné potrubí připojena sacím potrubím o světlosti DN 125. Z čerpadel vede výtlačné potrubí světlosti DN 100 do společného výtlačku o průměru DN 400 a celkové délce výtlačného řádu 890 m, které ústí do vodojemu Lužná.

Vodojem Lužná má objem nádrží 2 x 650 m³, dno podlahy vodojemu je ve výšce 530,8 m. n. m. Maximální nastavená hladina vody v nádržích je 3,6 m. Čerpadla překonávají nečastěji se vyskytující geodetickou výšku 132,3 m. Potrubí, kterým přitéká pitná voda z ČS Lužná, je vyústěno nad maximální nastavenou hladinou vody v nádržích v nadmořské výšce 534,7 m. n. m. Při neočekávané havárii ve výtlačném řádu nemůže dojít k zpětnému vytékání pitné vody. Vzhledem k pevnému umístění nejvyššího bodu potrubí se geodetická výška příliš nemění a je ovlivněna pouze polohou hladiny v sací nádrži.



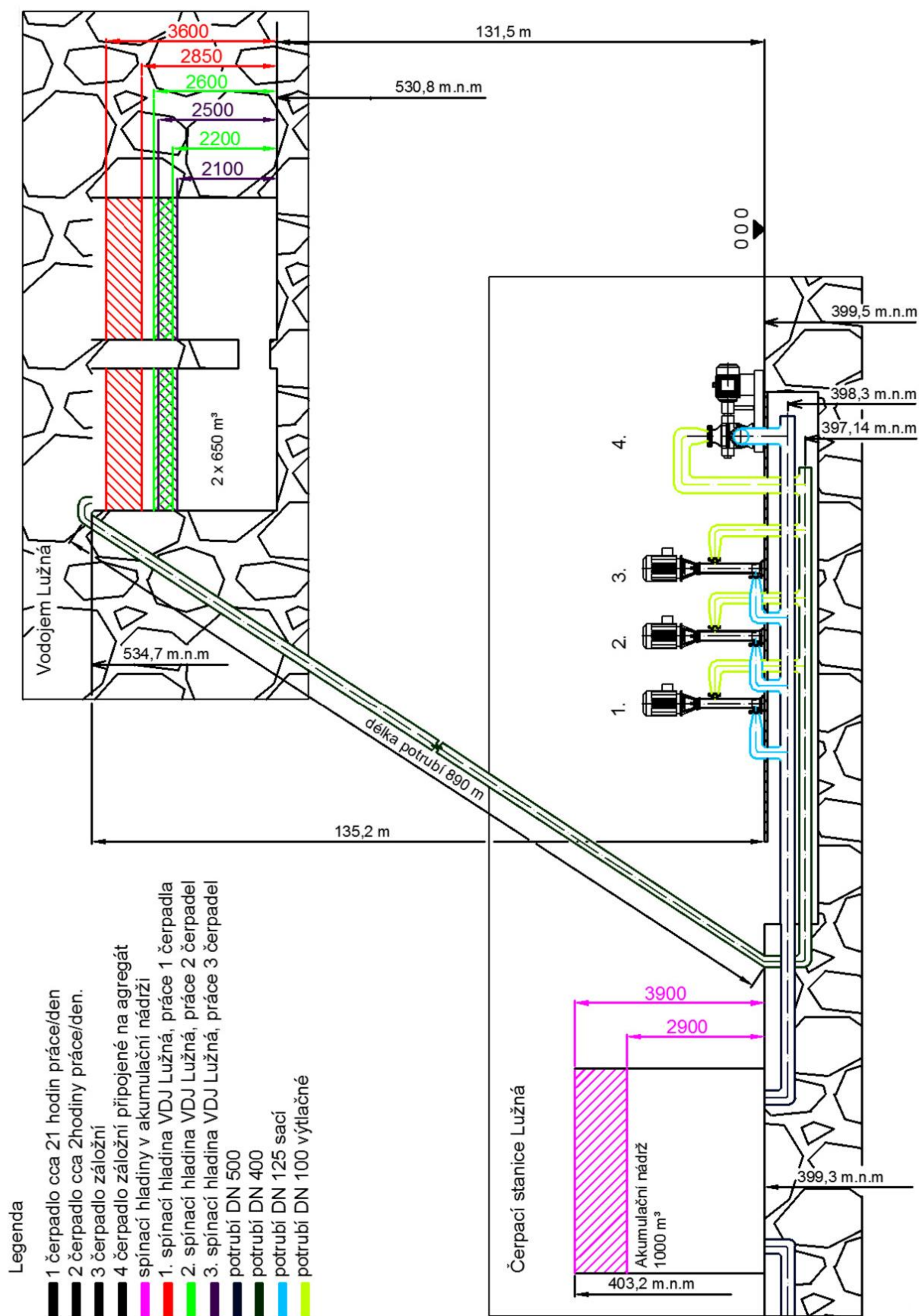
Obr. 1. 2 – Tři vertikální čerpadla Grundfos CV 125-30 instalované v ČS Lužná

V ČS Lužná jsou instalovány tři čerpadla vertikální typu Grundfos CV 125-30 znázorněna na (viz. Obr. 1. 2.). Běžně pracuje jen jedno čerpadlo v průměru 21 hodin za den a čerpá $35,7 \text{ dm}^3/\text{s}$ pitné vody. Na vykrytí odběrových špiček se paralelně spouští druhé čerpadlo stejné charakteristiky, které pracuje v průměru 3 hodiny denně a spolu dodávají $68 \text{ dm}^3/\text{s}$ pitné vody. V záloze je třetí čerpadlo. Čerpadla se v koloběhu čerpání střídají, aby měla podobné množství odpracovaných hodin. Odpracované hodiny by neměly být stejné, kvůli výměně nebo poruše čerpadla. Čtvrté čerpadlo je horizontální typu Sigma 125 – CVE, které je připojeno na dieselový agregát jako záloha. Čerpadlo je použito především při výpadku elektrické energie a jednou měsíčně je zkušebně spuštěno. Na (viz. Obr. 1. 3.) je zobrazeno zabudování všech čtyř čerpadel v ČS Lužná.



Obr. 1. 3 - ČS Lužná

Spínání čerpadel probíhá podle nastavených hladin ve VDJ Lužná. Spínací hladiny se dají libovolně nastavovat podle potřebného množství odebírané pitné vody z VDJ Lužná. Vše se řídí, monitoruje a nastavuje online z nedalekého Vsetína vzdáleného 11 km od ČS Lužná. První čerpadlo spíná na hladině 2,85 m a vypíná na hladině 3,6 m. Druhé čerpadlo zapíná na hladině 2,2 m a vypíná při dosažení hladiny 2,6 m. Třetí čerpadlo zapíná na hladině 2,1 m a končí čerpání při dosažení hladiny 2,5 m. Během roku 2009 se třetí čerpadlo nepřipojilo do paralelní spolupráce. Maximálně běžela současně dvě čerpadla. Spínací hladiny jsou schematicky zakresleny na (viz. Obr. 1. 4.) včetně celé ČS Lužná a VDJ Lužná, kterou jsem osobně navštívil dne 9. března 2010.



Obr. 1. 4 - Schematiky zakreslený popis ČS Lužná a VDJ Lužná

2 Charakteristika potrubního systému

2.1 Teoretická část charakteristiky potrubního systému

Abychom správně navrhli čerpadla do čerpacího systému, musíme znát charakteristiku potrubí. Charakteristika potrubí je funkcí měrné energie na průtoku dopravované kapaliny $Y=f(Q)$. Průtok kapaliny značíme Q a vyjadřuje objem nebo hmotnost kapaliny, které proteče daným úsekem za jednotku času. Průtok tedy můžeme definovat jako:

- objemový průtok Q_v v jednotkách $[m^3 \cdot s^{-1}]$,
- hmotnostní průtok O_m v jednotkách $[kg \cdot s^{-1}]$,
- jmenovitý průtok O_n v jednotkách $[m^3 \cdot s^{-1}]$,

Měrnou energii můžeme popsat jako energii v Joulech potřebnou na dopravu 1 kg čerpané kapaliny. V čerpací technice se setkáváme s pojmy:

- skutečná měrná energie Y_s ,
- teoretická měrná energie Y_t
- jmenovitá měrná energie Y_n

Všechny tyto energie jsou v jednotkách $[J \cdot kg^{-1}]$. Měrnou energii lze přepočítat na dopravní výšku čerpané kapaliny, podle vzorce:

$$H = \frac{Y_s}{g} \quad [m] \quad (2.1)$$

Název dopravní výška se více užívá ve firemní literatuře v prospektech a charakteristikách čerpadel. Konstanta g je gravitační zrychlení $m \cdot s^{-2}$.

Charakteristiku potrubí můžeme rozdělit do dvou částí. Na statickou část a dynamickou část.

Statická část je závislá na geodetické výšce, což je rozdíl hladin v sací a výtlačné nádrži a taky na tlakové výšce, což je rozdíl tlaků nad hladinami v sací a výtlačné nádrži. Pokud jsou nádrže otevřené s barometrickým tlakem, jako v našem případě, tlaková výška je rovna 0. Statická část není závislá na režimu proudění, takže při neměnění se geodetické výšce ji můžeme považovat za konstantní.

Naopak dynamická část charakteristiky potrubí je závislá na režimu proudění, velikostech ztrát v potrubí, délce potrubí a součiniteli tření λ . Režim proudění je určen Reynoldsovým číslem (2.3), jeho kritická hodnota je 2320, což je přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním. Ve výpočtech se pohybujeme jen v turbulentním proudění, které je typické pro dopravu vody. V ČS Lužná se proudění pohybuje v rozmezí od 4000 do 200 000 podle rychlosti proudění. Rychlost proudění se vypočte z rovnice

kontinuity (2.2). Ve většině případů je znám průtok dopravované kapaliny. Turbulentní proudění má větší tečné napětí, a proto jsou ztráty třením větší než u laminárního proudění. Součinitel tření λ je závislý na drsnosti potrubí a také na velikosti Reynoldsova čísla. Součinitel tření λ je vypočten podle Churchilla (2.7) [1], [2].

2.2 Charakteristika potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná

Názorný příklad výpočtu s použitými vzorci je proveden pro průtok $35,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, který odpovídá pracovnímu bodu ČS Lužná se stávajícími čerpadly Grundfos CV 125-30. Potrubí v ČS Lužná má stáří 24 let, rozměr potrubí je 426 x 7 mm s délkou 890 m, překonávající geodetickou výšku 132,3 m, která je nejčastěji vyskytující se geodetickou výškou v systému ČS Lužná za rok 2009. Teplota pitné vody 8°C .

Výpočet rychlosti proudění z rovnice kontinuity:

$$Q_v = S \cdot v \rightarrow v = \frac{4 \cdot Q_v}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0357}{\pi \cdot 0,412^2} = 0,268 \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

Q_v = objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], S = průřez potrubí [m^2], d = průměr potrubí [m], v = rychlost proudění kapaliny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

výpočet Reynoldsova čísla:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,268 \cdot 0,412}{1,39439 \cdot 10^{-6}} = 79186 \quad [-] \quad (2.3)$$

ν = kinematická viskozita vody [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], při 8°C

výpočet součinitele tření λ podle Churchilla:

ε je relativní drsnost potrubí, k je drsnost potrubí. Hodnota 0,005 [m] odpovídá silně inkrustovanému potrubí [3].

$$\varepsilon = \frac{d}{k} = \frac{0,412}{0,005} = 82,4 \quad [-] \quad (2.4)$$

koeficient a :

$$a = \left[-2,457 \cdot \ln \cdot \left(\left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot \varepsilon \right) \right]^{16} =$$

$$= \left[-2,457 \cdot \ln \left(\left(\frac{7}{79186} \right)^{0,9} + 0,27 \cdot 82,4 \right) \right]^{16} = 1,298 \cdot 10^{14} \quad [-] \quad (2.5)$$

koeficient b:

$$b = \left(\frac{37530}{\text{Re}} \right)^{16} = \left(\frac{37530}{79186} \right)^{16} = 6,482 \cdot 10^{-6} \quad [-] \quad (2.6)$$

konečný výpočet součinitele tření λ :

$$\lambda = 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{\text{Re}} \right)^{12} + \frac{1}{(a+b)^{1,5}} \right]^{\frac{1}{12}} =$$

$$= 8 \cdot \left[\left(\frac{8}{79186} \right)^{12} + \frac{1}{(1,298^{14} + 6,482 \cdot 10^{-6})^{1,5}} \right]^{\frac{1}{12}} = 0,1377 \quad [-] \quad (2.7)$$

ztrátová měrná energie:

$\sum \xi$ je suma všech ztrát. Protože nebyly k dispozici podrobné údaje o armaturách a tvarovkách umístěných v sacím a výtlačném potrubí, byla hodnota $\sum \xi = 164$ nastavena tak, aby se charakteristika potrubí a čerpadla protínala v pracovním bodě $Q_v = 35,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a dopravní výšce 134 m, tak, jak bylo určeno měření v ČS Lužná ve dnech 10.7 až 17. 7. 2070.

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,1377 \cdot \frac{890}{0,412} + 164 \right) \cdot \frac{0,268^2}{2} = 16,37 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (2.8)$$

statická měrná energie:

$$Y_{\text{stat}} = g \cdot h_g = 9,81 \cdot 132,3 = 1297,86 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (2.9)$$

H_g = geodetická výška [m], g = gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

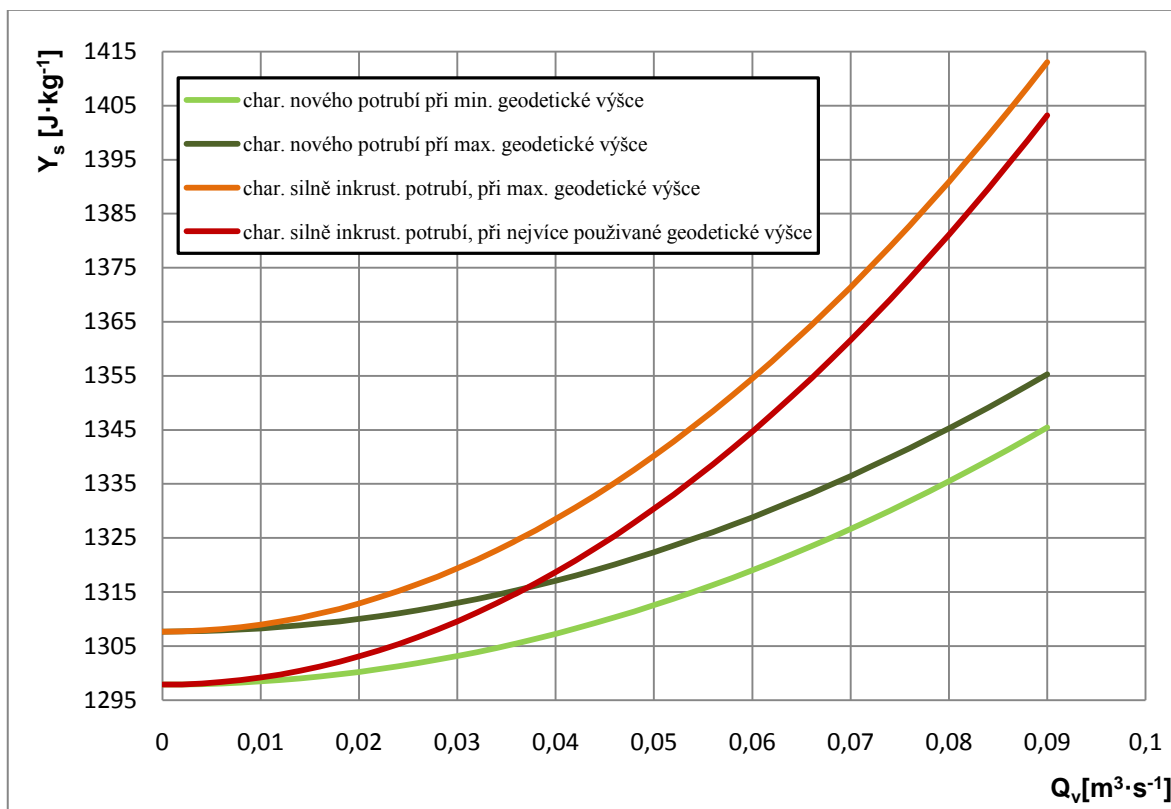
skutečná měrná energie:

$$Y_s = Y_{\text{stat}} + Y_z = 1297,86 + 16,37 = 1314,23 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (2.10)$$

výpočet dopravní výšky:

$$H = \frac{Y_s}{g} = \frac{1314,23}{9,81} = 133,97 \quad [\text{m}] \quad (2.11)$$

2.3 Graf charakteristiky potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná



Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

Obr. 2.1 - Graf charakteristiky potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná

V následujících výpočtech je použita charakteristika silně inkrustovaného potrubí, při nejvíce používané geodetické výšce za rok 2009 $h_g = 132,3$ m. Na (viz. Obr. 2.1) je vykreslena červenou barvou. Z grafu je patrné, jak veliký je rozdíl v charakteristice nového a starého potrubí, který se zvětšuje se zvyšujícím průtokem. (viz. příloha CD)

3 Hydrodynamická čerpadla

Hydrodynamická čerpadla lopatková jsou stroje, které přeměňují mechanickou energii přiváděnou na hřídel čerpadla na kinetickou, která se následně v oběžném kole mění na energii tlakovou. Pracujícím prvkem těchto čerpadel jsou oběžné kola. Kapalina přichází do oběžného kola čerpadla v axiálním směru, ale podle výstupu kapaliny z čerpadla dělíme čerpadla na:

- radiální dosahují vyšších tlaků a menších průtoků,
- axiální dosahují menších tlaků ale větších průtoků,
- diagonální, jejichž funkce spojuje oba principy

Pro ČS Lužná jsou použitelná radiální oběžná kola, která jsou řazená za sebou. Nazýváme je vícestupňová pro dosažení vyšších tlaků. Podle polohy hřídele je dělíme na horizontální a vertikální. V současné době pracují v ČS Lužná tři čerpadla vertikální Grundfos CV 125-30, která se střídají v čerpání, anebo pracují dvě současně v paralelní spolupráci pro zvýšení průtoku. Čtvrté čerpadlo je horizontální sigma 125-CVE 350-25, které je napojené na dieselový agregát a používá se pouze při výpadku elektrické energie [4].

3.1 Popis navržených a stávajících čerpadel:

Stávající čerpadla:

Grundfos **CV 125-30**

Typ čerpadla: vertikální

Stáří čerpadla 10 let. Provozní bod čerpadla měřený na výtlačku čerpadla v ČS Lužná:

průtok $Q_v = 128,52 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,

dopravní výška $H = 134 \text{ m}$,

otáčky čerpadla 2900 min^{-1} ,

účinnost motor + čerpadlo 65,7 %

podíl v provozu 50,4 %

počet čerpadel 3 ks



obr. 3.1 čerpadlo Grundfos CV 125-30

Sigma Lutín **150 CVE**

Typ čerpadla: horizontální

průtok $Q_v = 180 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,

dopravní výška $H = 135 \text{ m}$

otáčky čerpadla 1486 min^{-1} ,

účinnost čerpadla 66%

záložní, připojené na dieselový agregát

počet čerpadel 1 ks

Sigma 150 CVE je odstředivé, horizontální, článkové čerpadlo. Vyznačují se řazením jednotlivých článků za sebou do tlakových stupňů [7].



obr. 3.2 čerpadlo Sigma Lutín 150 CVE

Navržená čerpadla:

Grundfos CR 120 6-1

Typ čerpadla: vertikální

průtok $Q_v = 107,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,

dopravní výška $H = 133,5 \text{ m}$

otáčky čerpadla 2980 min^{-1} ,

účinnost čerpadla 74,79 %

podíl v provozu 60,4 %

cena 252 080 Kč

Čerpadla CR jsou vertikální vícestupňová odstředivá čerpadla. Jejich konstrukce in-line umožňuje instalaci čerpadla v horizontální jednotrubkové soustavě se sacím výtlačným hrdlem v jedné horizontální rovině. Tato konstrukce umožňuje kompaktnější řešení čerpadla a potrubí. Čerpadla CR jsou vhodná pro celou řadu provozních aplikací. Počínaje čerpáním pitné vody a konče čerpáním chemických roztoků [8].



Obr. 3.3 - Čerpadlo Grundfos CR 120 6-1

Vogel Pumpen MPV 125.2_6

Typ čerpadla: vertikální

průtok $Q_v = 123,18 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,

dopravní výška $H = 133,86 \text{ m}$

otáčky čerpadla 1450 min^{-1} ,

účinnost čerpadla 76,02 %

podíl v provozu 52,6 %

cena 757 800 Kč

Robustní vertikální článkové čerpadlo s volitelnou orientací hřídele, s dvouřadým axiálním ložiskem ze strany pohonu, s přírubovým elektromotorem. Hřídel čerpadla je spojena pružnou spojkou s hřídelí elektromotoru. Čerpadla jsou vhodná pro dopravu pitné vody a mírně znečištěných vod [9].



obr. 3.4 čerpadlo Vogel Pumpen MPV 125.2/6

3.2 Výpočet výkonu a účinnosti hydrodynamických čerpadel

Většina výrobců čerpadel poskytuje charakteristiky výkonu a účinnosti čerpadel závislejícím na průtoku, ve kterém čerpadlo pracuje. Výpočet pracovních parametrů je vysvětleno v následující kapitole 4. viz. *Pracovní bod systému*.

Katalogová charakteristika účinnosti čerpadla Grundfos CV 125-30, při parametrech čerpání $Q_v = 0,03678 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v ČS Lužná:

$$\begin{aligned}\eta &= -62572 \cdot Q_v^2 + 4345,7 \cdot Q_v + 1,1461 = \\ &= -62572 \cdot 0,03678^2 + 4345,7 \cdot 0,03678 + 1,1461 = 76,33 \quad [\%] \quad (3.1)\end{aligned}$$

Katalogová charakteristika příkonu čerpadla Grundfos CV 125-30:

$$\begin{aligned}P_1 &= 666,23 \cdot Q_v^2 + 761,89 \cdot Q_v + 36,203 = \\ &= 666,23 \cdot 0,03678^2 + 761,89 \cdot 0,03678 + 36,203 = 65,13 \quad [\text{kW}] \quad (3.2)\end{aligned}$$

Katalogová charakteristika příkonu a účinnosti čerpadla Grundfos CV 125-30 je zakreslena v grafu viz. *Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Grundfos CV 125 – 30* v kapitole 4. 2 a tabulka s pracovními parametry čerpadla Grundfos CV 125 - 30 se nachází viz. *Tabulky pracovních parametrů čerpadel v systému ČS Lužná* v kapitole 5.

4 Pracovní bod systému

Charakteristika potrubí určuje, kolik energie je potřeba k dopravě daného průtoku $Y_{(p)} = f(Q_v)$. Charakteristika čerpadla udává, jakou měrnou energii poskytuje čerpadlo při daném průtoku $Y_{(c)} = f(Q_v)$.

Pracovní bod systému se nachází v průsečíku charakteristik čerpadla $Y_{(c)} = f(Q_v)$ a charakteristiky potrubí $Y_{(p)} = f(Q_v)$. Při ustáleném provozu nastává energetická bilance systému $Y_{(c)} = Y_{(p)}$. Obě složky jsou v rovnováze. Hlavní parametry průtoku Q_v a měrné energie Y jsou pro čerpadlo a potrubí stejné. Pracovní bod nám udává parametry čerpání [4].

4.1 Výpočet pracovního bodu systému ČS Lužná s čerpadly Grundfos CV 125-30

Charakteristika potrubí ČS Lužná:

$$Y_{(p)} = 13006 \cdot Q_v^2 + 0,0462 \cdot Q_v + 1297,9 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (4.1)$$

Charakteristika čerpadla Grundfos CV 125-30

$$Y_{(c)} = -360340 \cdot Q_v^2 + 2116,4 \cdot Q_v + 1725,2 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (4.2)$$

Rovnováha měrných energií $Y_{(p)} = Y_{(c)}$:

$$13006 \cdot Q_v^2 + 0,0462 \cdot Q_v + 1297,9 = -360340 \cdot Q_v^2 + 2116,4 \cdot Q_v + 1725,2 \quad (4.3)$$

$$13006 \cdot Q_v^2 - 3116,3538 \cdot Q_v - 427,3 = 0 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.4)$$

Výpočet kvadratické rovnice pomocí diskriminantu:

$$\begin{aligned} D &= b^2 - 4 \cdot a \cdot c = (-2116,3538)^2 - 4 \cdot 373346 \cdot (-427,3) = \\ &= 642601936,6 \quad [-] \quad (4.5) \end{aligned}$$

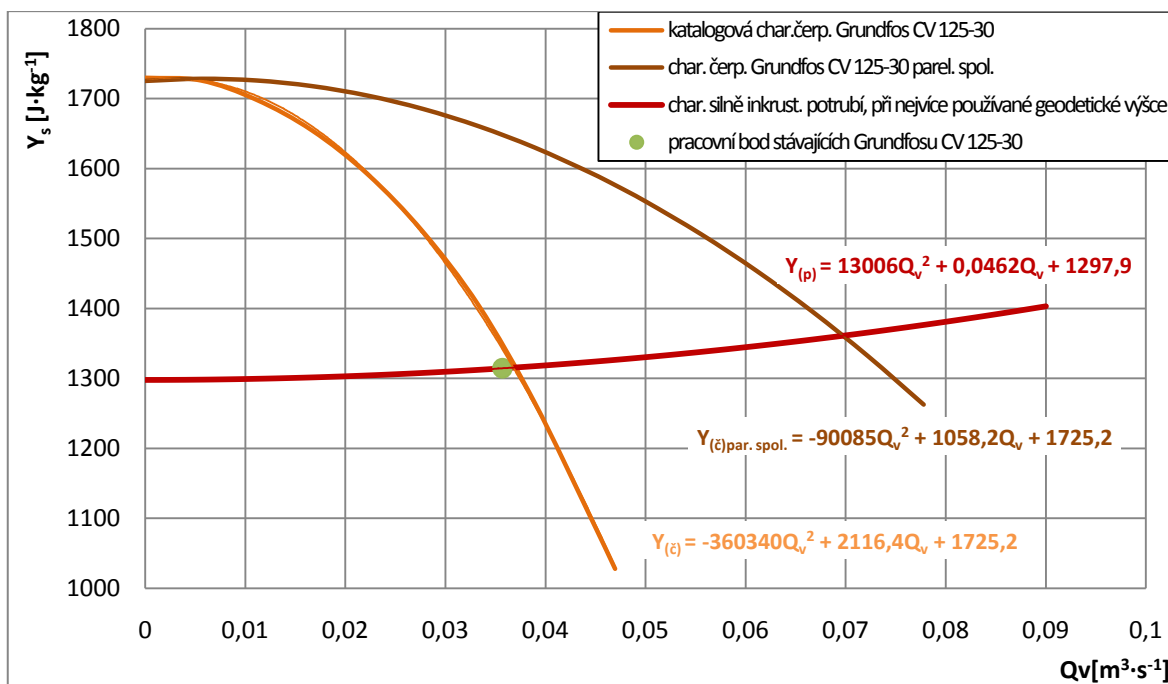
$$Q_{v1} = \frac{-b - \sqrt{D}}{2 \cdot a} = \frac{2116,3538 - \sqrt{642601936,6}}{2 \cdot 373346} = -0,03111 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.6)$$

$$Q_{v2} = \frac{-b + \sqrt{D}}{2 \cdot a} = \frac{2116,3538 + \sqrt{642601936,6}}{2 \cdot 373346} = 0,03678 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4.7)$$

Kladnou hodnotu průtoku dosadíme do charakteristiky čerpadla nebo charakteristiky potrubí a vypočteme měrnou energii v pracovním bodě systému při $Q_v = 0,03678 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

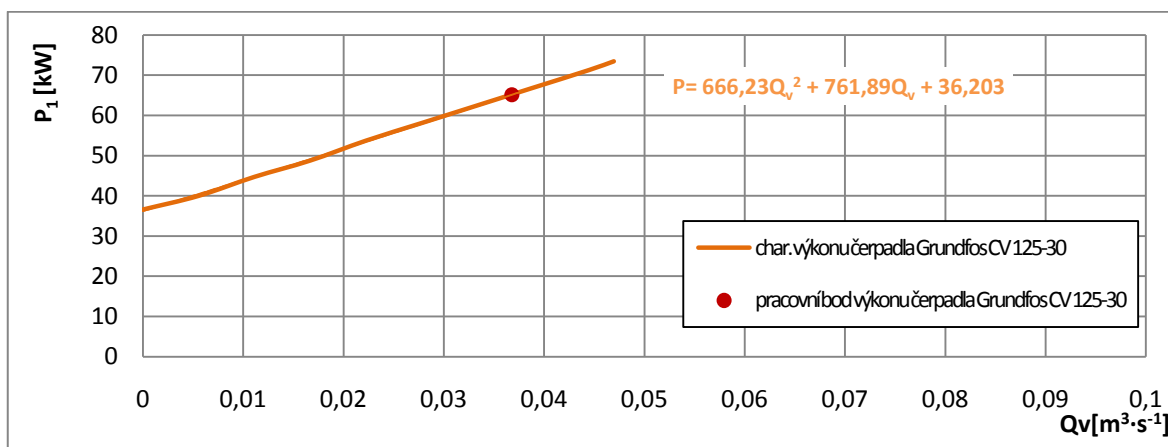
$$\begin{aligned} Y_{(p)} &= 13006 \cdot Q_v^2 + 0,0462 \cdot Q_v + 1297,9 = \\ &= 13006 \cdot 0,03678^2 + 0,0462 \cdot 0,03678 + 1297,9 = 1315,5 \quad [\text{J kg}^{-1}] \quad (4.8) \end{aligned}$$

4.2 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Grundfos CV 125 - 30



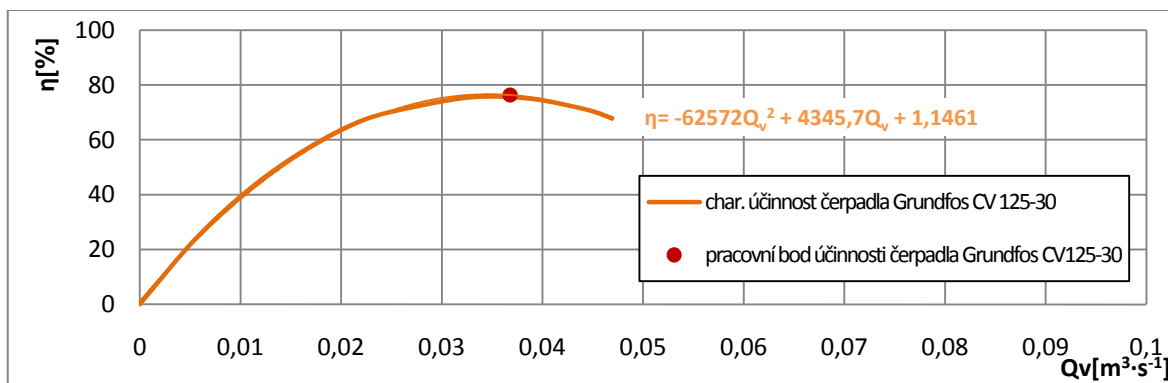
Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

Obr. 4.1 - Graf charakteristiky čerpadla Grundfos CV 125-30



Q_v - objemový průtok kapaliny, P_1 – příkon čerpadla

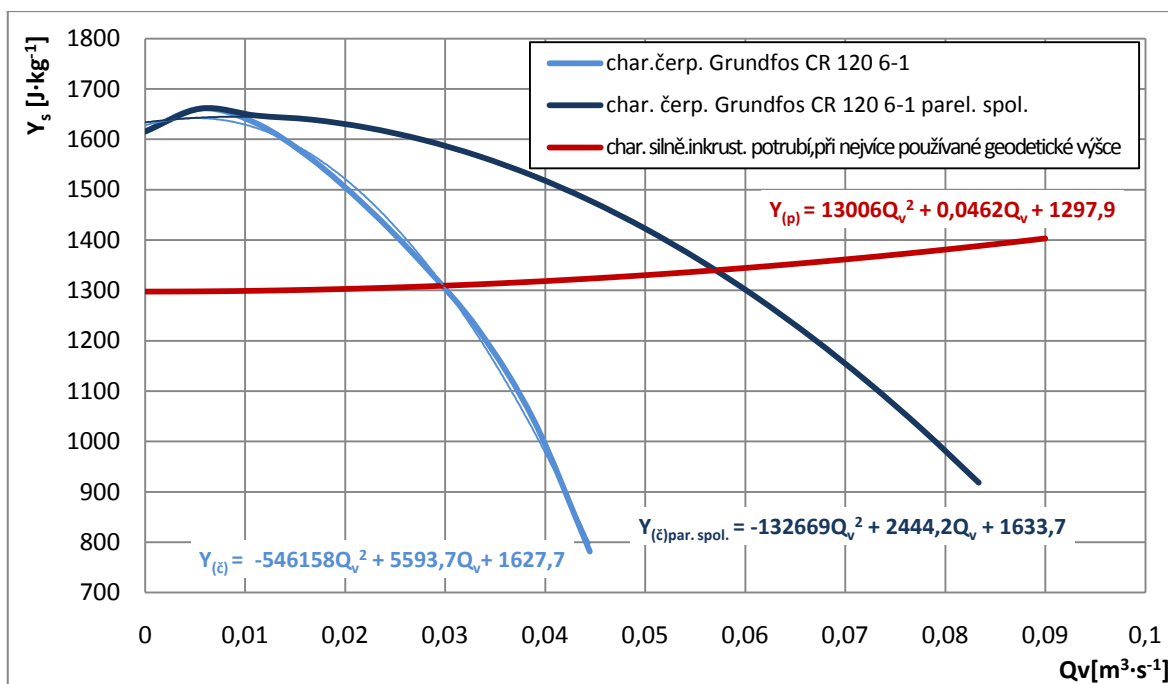
Obr. 4.2 - Graf charakteristiky příkonu čerpadla Grundfos CV 125-30



Q_v - objemový průtok kapaliny, η – účinnost čerpadla

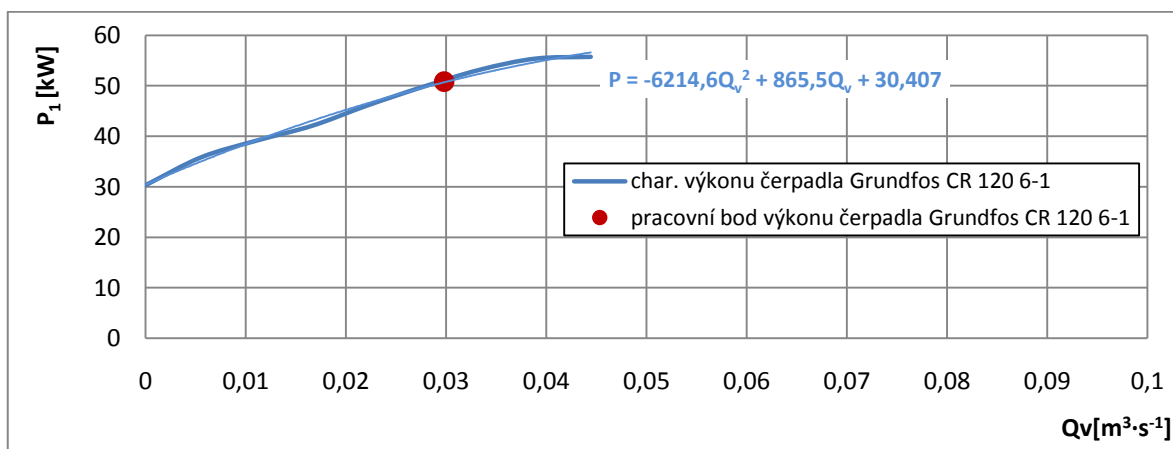
Obr. 4.3 - Graf charakteristiky účinnosti čerpadla Grundfos CV 125-30 viz. Tabulka č. 11.1

4.3 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Grundfos CR 120 6-1



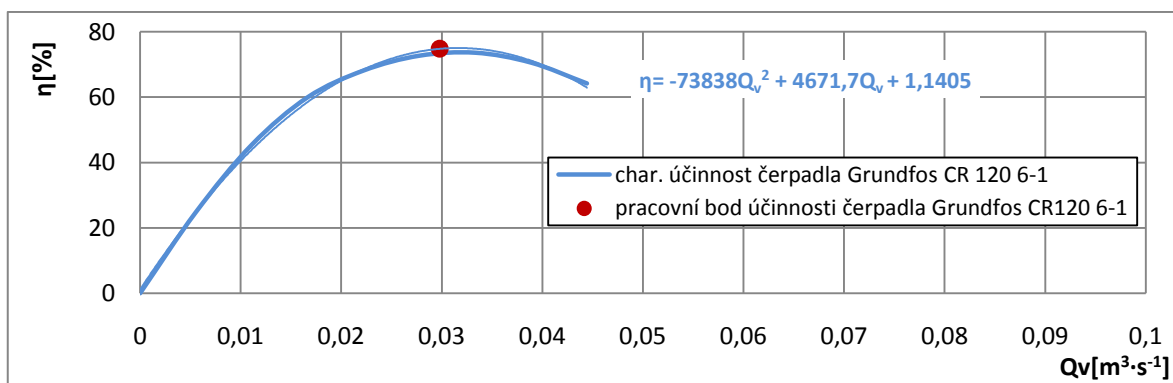
Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

Obr. 4.4 - Graf charakteristiky čerpadla Grundfos CR 120 6-1



Q_v - objemový průtok kapaliny, P_1 – příkon čerpadla

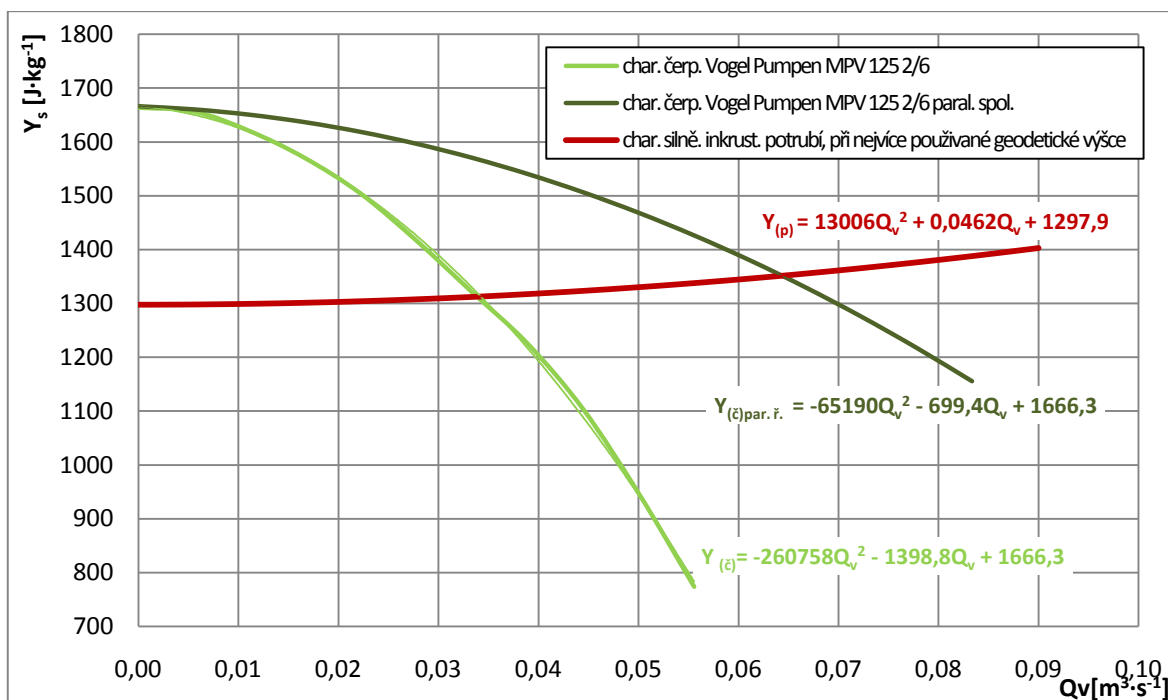
Obr. 4.5 - Graf charakteristiky příkonu čerpadla Grundfos CR 120 6-1



Q_v - objemový průtok kapaliny, η – účinnost čerpadla

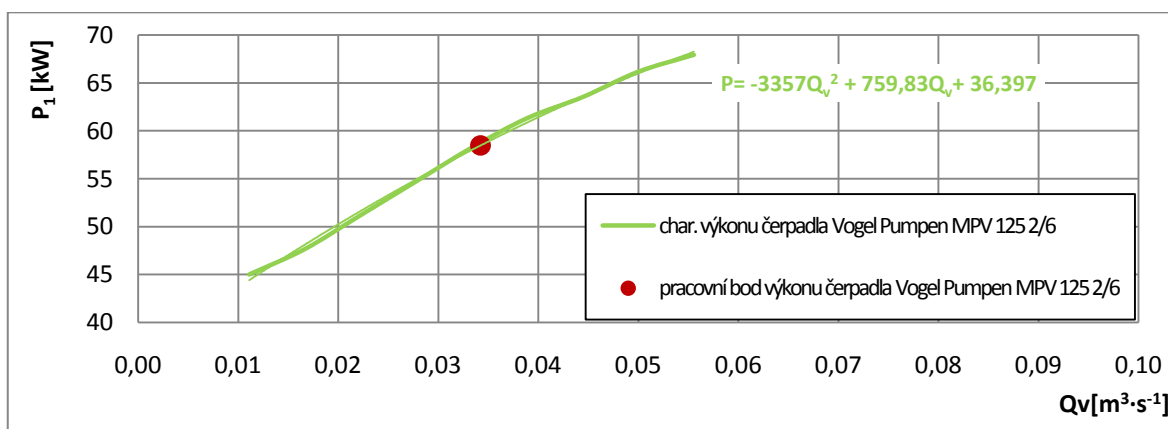
Obr. 4.6 - Graf charakteristiky účinnosti čerpadla Grundfos CR 120 6-1 viz. Tabulka č. 11.2

4.4 Charakteristika pracovního bodu ČS Lužná s čerpadly Vogel Pumpen MPV 125



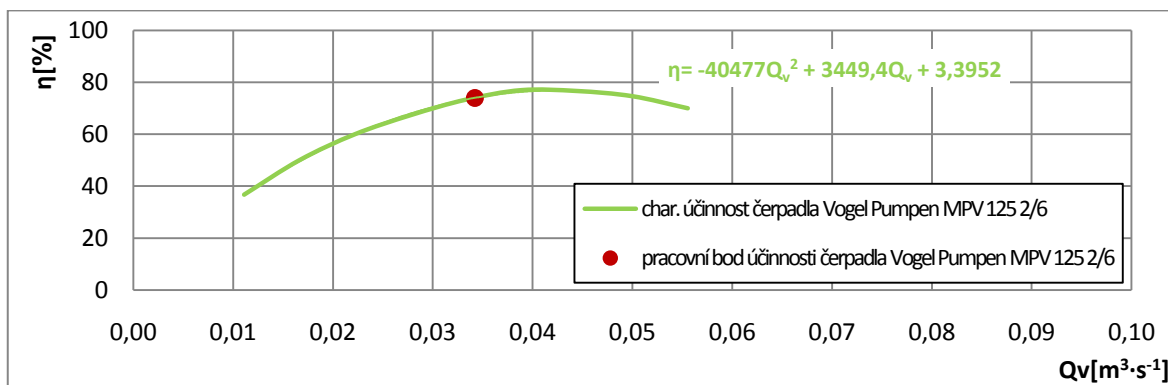
Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

Obr. 4.7 - Graf charakteristiky čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6



Q_v - objemový průtok kapaliny, P_1 – příkon čerpadla

Obr. 4.8 - Graf charakteristiky příkonu čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6



Q_v - objemový průtok kapaliny, η – účinnost čerpadla

Obr. 4.9 - Graf charakteristiky účinnosti čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6 viz. Tabulka č. 11.3

5 Tabulky pracovních parametrů čerpadel v systému ČS Lužná

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,03678	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	132,4206	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1315,50	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	134,10	$[m]$	-	-	-
$P_1=$	65,13	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	76,33	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.1 - Pracovních parametrů čerpadla Grundfos CV 125-30, dle katalogové charakteristiky

$Q_{v(\check{c},p)par.spol.}=$	0,06972	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	250,9816	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)par.spol.}=$	1361,12	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)par.spol.}=$	138,75	$[m]$	-	-	-
$P_2=$	127,14	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	76,60	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.2 - Pracovních parametrů čerpadla Grundfos CV 125-30 v paralelní spolupráci, dle katalogové charakteristiky

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,02980	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	107,27	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1309,45	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	133,48	$[m]$	-	-	-
$P=$	50,81	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	74,79	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.3 - Pracovních parametrů čerpadla Grundfos CR 120 6-1

$Q_{v(\check{c},p)par.spol.}=$	0,05713	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	205,66	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)par.spol.}=$	1340,35	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)par.spol.}=$	136,63	$[m]$	-	-	-
$P_{dvou\ \check{c}erp.}=$	100,18	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	74,36	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.4 - Pracovních parametrů čerpadla Grundfos CR 120 6-1 v paralelní spolupráci

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,03422	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	123,18	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1313,13	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	133,86	$[m]$	-	-	-
$P_1=$	58,47	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	76,02	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.5 - Pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6

$Q_{v(\check{c},p)par.spol.} =$	0,06431	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	231,52	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)par.spol.} =$	1351,70	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)par.spol.} =$	137,79	$[m]$	-	-	-
$P_2 =$	114,72	$[kW]$	-	-	-
$\eta =$	74,90326	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 5.6 - Pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6 v paralelní spolupráci

Z předchozích tabulek lze vyčíst parametry čerpání jednotlivých čerpadel zapojených v systému ČS Lužná. Nejúspornějším čerpadlem je Grundfos CR 120 6-1. Čerpadlo Grundfos CV 125 – 30 v paralelní spolupráci se vykazuje nejvyšší účinnost a také nejvyšší objemové množství přečerpáné pitné vody. Při návrhu nových čerpadel se kladl důraz hlavně na úsporu elektrické energie za předpokladu, že dopravované množství pitné vody se nebude již dále zvyšovat.

6 Regulace parametru hydraulického systému (změna provozního bodu)

V ustáleném stavu čerpacího systému je provozním bodem průsečík charakteristik čerpadla a potrubí. Souřadnice Q a Y udávají parametry čerpání. V některých případech čerpání je požadována změna těchto parametrů, tzn., že čerpací systém bude pracovat v novém provozním bodě. Změnou polohy provozního bodu můžeme dosáhnout:

- změnou charakteristiky potrubí
- změnou charakteristiky čerpadla
- změnou obou předchozích charakteristik

Změna charakteristiky potrubí se provádí škrcením na výtlaku čerpadla. Je to nejjednodušší způsob regulace. Škrťací armaturou se zvyšuje ztrátový součinitel, a tím se mění charakteristika potrubí. Čím více přivíráme škrťací armaturu, tím je charakteristika potrubí strmější. Škrcením se máří energie vynaložena čerpadlem, i přes nehospodárnost regulace je tato metoda často používána pro nízké pořizovací náklady.

Změnu charakteristiky čerpadla můžeme provést několika způsoby, a to natáčením lopatek oběžného kola čerpadla, regulace změnou otáček čerpadla (viz. kapitola 6.1) a dalším způsobem může být regulace počtem čerpadel. Sériová spolupráce čerpadel se užívá pro zvýšení měrné energie, při stejném průtoku za použití čerpadel se stejnou charakteristikou. Čerpadla s rozdílnou charakteristikou v sériové spolupráci se používají

pro zvýšení průtoku a měrné energie, při strmé charakteristice potrubí. Další spolupráci čerpadel je paralelní viz. kapitola 6.4.

6.1 Regulace systému změnou otáček čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6

Způsob regulace průtoku umožňuje plynulá změna otáček. Při lineárně rostoucím průtoku se zvyšuje odpor systému kvadraticky, což je patrné z charakteristiky potrubí. Čerpadlo se chová podobně, při lineárně rostoucím průtoku a otáčkách roste měrná energie rovněž kvadraticky. Podle zákona kinematické podobnosti platí pro odstředivá čerpadla následující afinní zákonitosti.

Výpočet objemového průtoku, při změně otáček z $n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$ na $n_2 = 1550 \text{ min}^{-1}$:

$$Q_{v2} = Q_{v1} \cdot \frac{n_2}{n_1} = 0,038 \cdot \frac{1550}{1400} = 0,042 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (6.1)$$

Výpočet měrné energie, při změně otáček z $n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$ na $n_2 = 1550 \text{ min}^{-1}$:

$$Y_{e2} = Y_{e1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 = 1142,56 \cdot \left(\frac{1550}{1400} \right)^2 = 1400,5 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.2)$$

Výpočet příkonu, při změně otáček z $n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$ na $n_2 = 1550 \text{ min}^{-1}$:

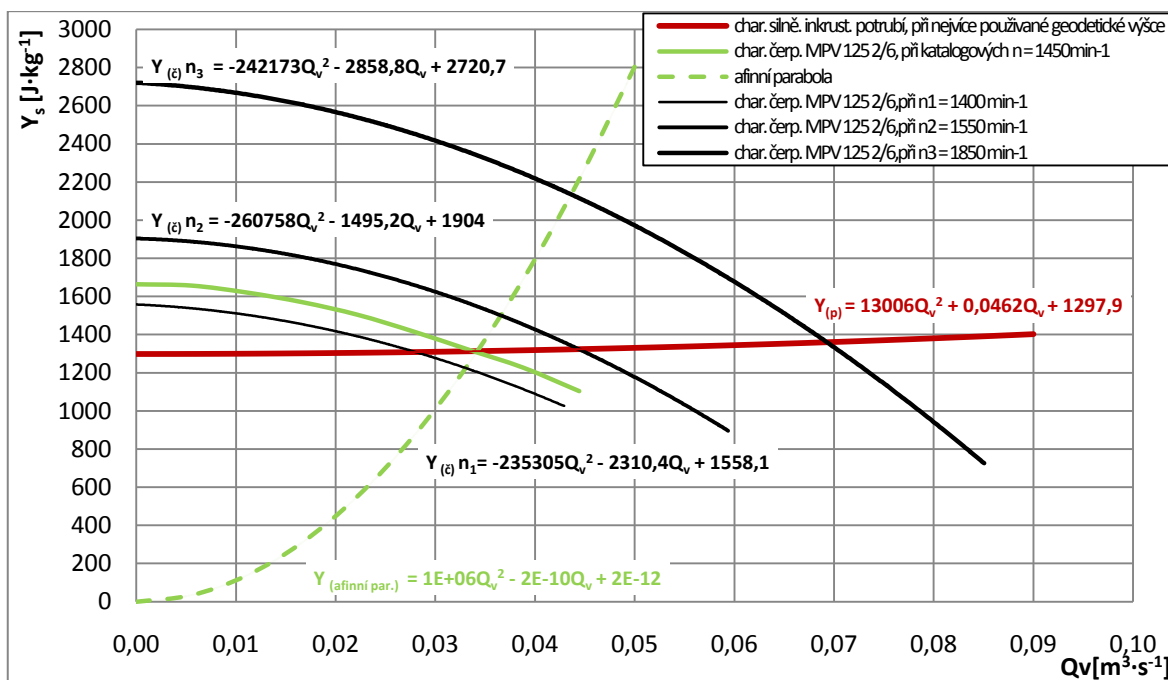
$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 = 55,2 \cdot \left(\frac{1550}{1400} \right)^3 = 74,9 \quad [\text{kW}] \quad (6.3)$$

Pro zjištění účinnosti si musíme vytabelovat funkci podle rovnice (6.4), kterou nazýváme afinní parabola. Prochází počátkem, a jejíž rovnicí můžeme určit ze souřadnic známého provozního bodu $Q_{v(\check{c},p)} = 0,03422 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $Y_{(\check{c},p)} = 1313,13 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. V sobě odpovídajících si bodech, tj. bodech ležících na afinní parabole, předpokládáme stejnou účinnost.

$$Y_{\text{afinní par.}} = k \cdot Q_v^2 = \frac{Y_{(\check{c},p)}}{Q_{v(\check{c},p)}^2} \cdot Q_v^2 = \frac{1313,13}{0,03422^2} \cdot 0,039^2 = 1705,6 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.4)$$

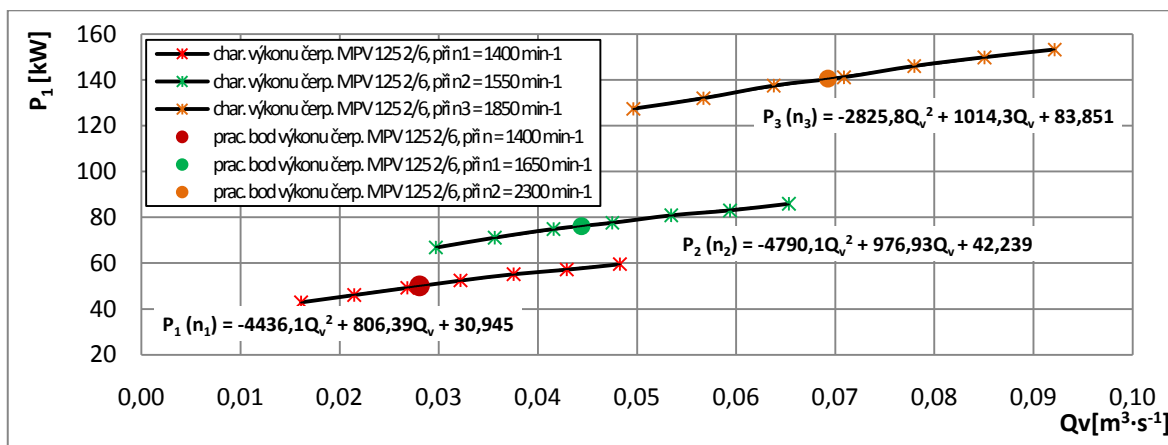
Výpočet pracovního bodu čerpadla při otáčkách n_1 , n_2 a n_3 je znázorněn v kapitole 4.1, princip výpočtu je stejný. To stejné platí i pro výpočet výkonu a účinnost v kapitole 3.2. Tabulka vypočtených hodnot pro otáčky n_1 , n_2 a n_3 čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6 se nachází v přílohách. Tabulky vypočtených pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách n_1 , n_2 a n_3 se nachází v kapitole 6.3 [4].

6.2 Grafy charakteristik čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při změně otáček



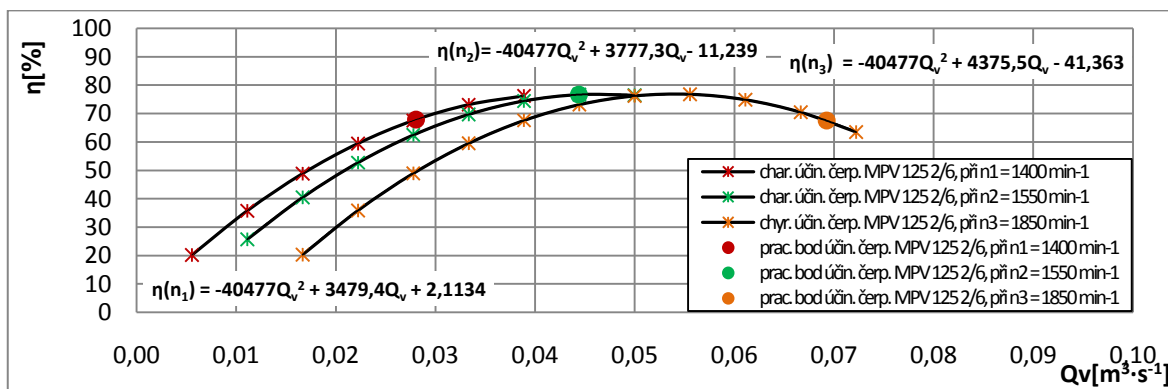
Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

obr. 6.1 Graf charakteristiky čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při změně otáček



Q_v - objemový průtok kapaliny, P₁ – příkon čerpadla

obr. 6.2 Graf charakteristiky příkonu čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při změně otáček



Q_v - objemový průtok kapaliny, η – účinnost čerpadla

obr. 6.3 Graf charakteristiky výkonu čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při změně otáček

6 . 3 Tabulky pracovních bodů čerpadla, při změně otáček

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,02805	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	100,98	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1308,14	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	133,35	$[m]$	-	-	-
$P_1=$	50,07	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	67,86	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 6.4 pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách *$n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$, viz. Tabulka č. 11.4*

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,04440	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	159,84	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1323,54	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	134,92	$[m]$	-	-	-
$P_1=$	76,17	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	76,68	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 6.5 pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách *$n_2 = 1550 \text{ min}^{-1}$, viz. Tabulka č. 11.5*

$Q_{v(\check{c},p)}=$	0,069279	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	=	249,40	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$Y_{(\check{c},p)}=$	1360,326	$[J \cdot kg^{-1}]$	-	-	-
$H_{(\check{c},p)}=$	138,6673	$[m]$	-	-	-
$P_1=$	140,56	$[kW]$	-	-	-
$\eta=$	67,49	$[\%]$	-	-	-

Tabulka 6.6 pracovních parametrů čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách *$n_3 = 1850 \text{ min}^{-1}$, viz. Tabulka č. 11.6*

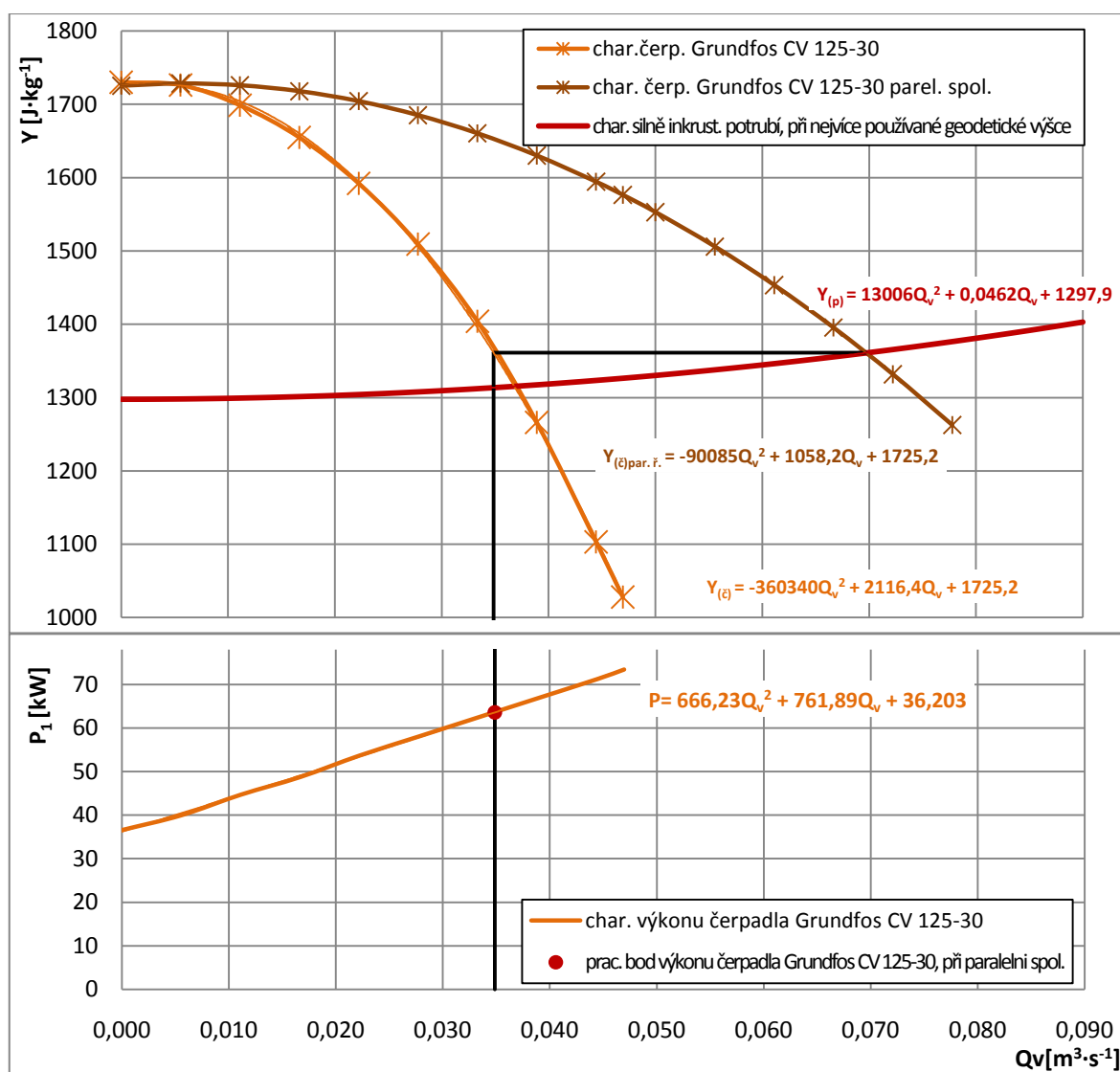
Z tabulek je patrné, že při otáčkách n_2 bude čerpadlo pracovat v optimálních podmínkách, což se týče účinnosti ale taky energeticky, cena 1 m³ vychází 0,95 Kč. Se zvyšujícími, popřípadě snižujícími se otáčkami účinnost v pracovním bodě klesá a zároveň roste cena čerpané pitné vody.

6 . 4 Paralelní spolupráce čerpadel

U paralelní spolupráce čerpadel se sčítají jejich průtoky, při konstantní měrné energii, popřípadě dopravní výšce. Charakteristika paralelně pracujících čerpadel se získává

sečtením příslušných průtoků při stejné měrné energii. U rostoucího průtoku roste i odpor hydraulického systému (potrubí) a skutečný provozní bod v paralelním provozu leží ve vyšší úrovni měrné energie (tlaku). To vede k menšímu vzrůstu průtoku, než u pouhého sečtení průtoků paralelně řazených čerpadel. Paralelní řazení je vhodné při plochých charakteristikách potrubí s vysokým podílem statické dopravní výšky (statické měrné energie). Celková účinnost zařízení je vysoká [2]. Paralelní spolupráce čerpadel jsou zakresleny v grafech na obr. 4.1, 4.4, 4.7. Hodnoty pracovních parametrů při paralelní spolupráci čerpadel v ČS Lužná jsou zobrazeny v tabulkách 5.2, 5.4 a 5.6.

Graf na obr 6.4 znázorňuje určení výkonu jednoho čerpadla při paralelní spolupráci:



Q_v - objemový průtok kapaliny, Y_s – skutečná měrná energie dopravované kapaliny

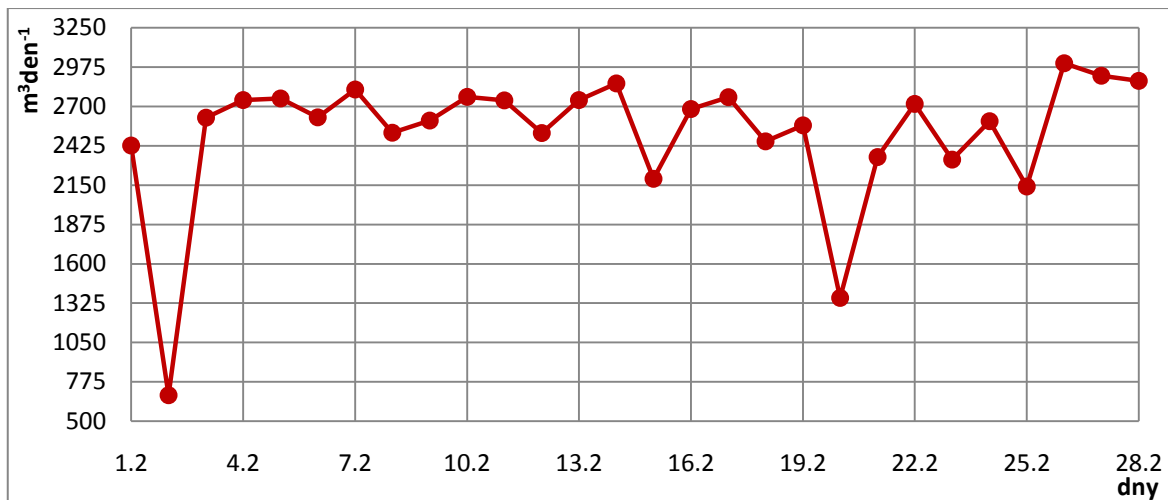
P_1 – příkon čerpadla

Obr. 6.4 - Grafické určení výkonu jednoho čerpadla, při paralelní spolupráci čerpadel

Stejným grafickým způsobem se řeší účinnost čerpadla při paralelní spolupráci.

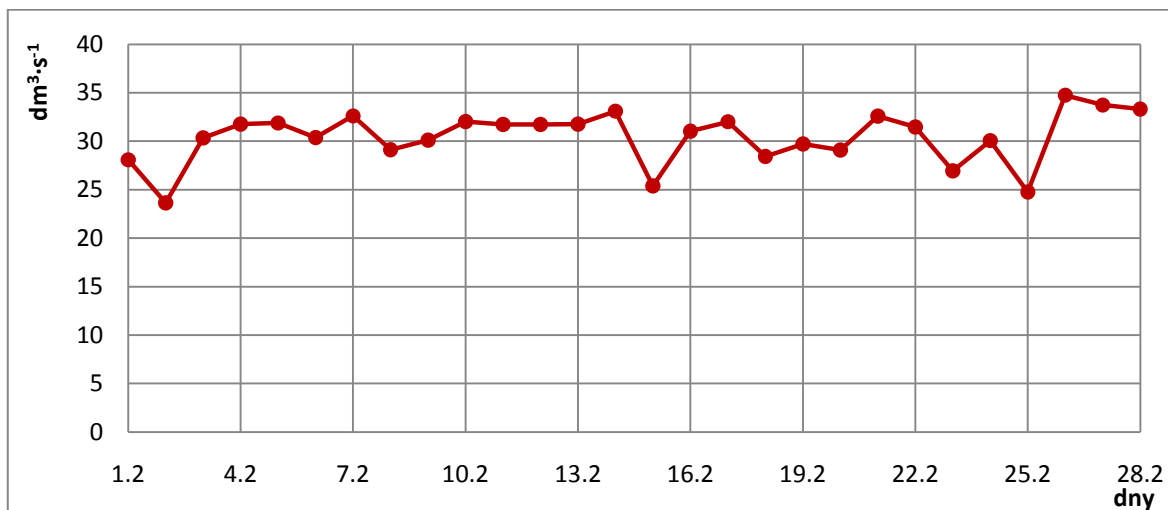
7 Čerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná a odběr pitné vody z VDJ Lužná

Pro dokreslení průběhu čerpání v systému ČS Lužná - VDJ Lužná je znázorněn průběh čerpání v měsíci únoru, kdy bylo přečerpáno nejmenší množství pitné vody v roce 2009.



Obr. 7.1 - Množství přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc únor v roce 2009, viz. Tabulka 11.9

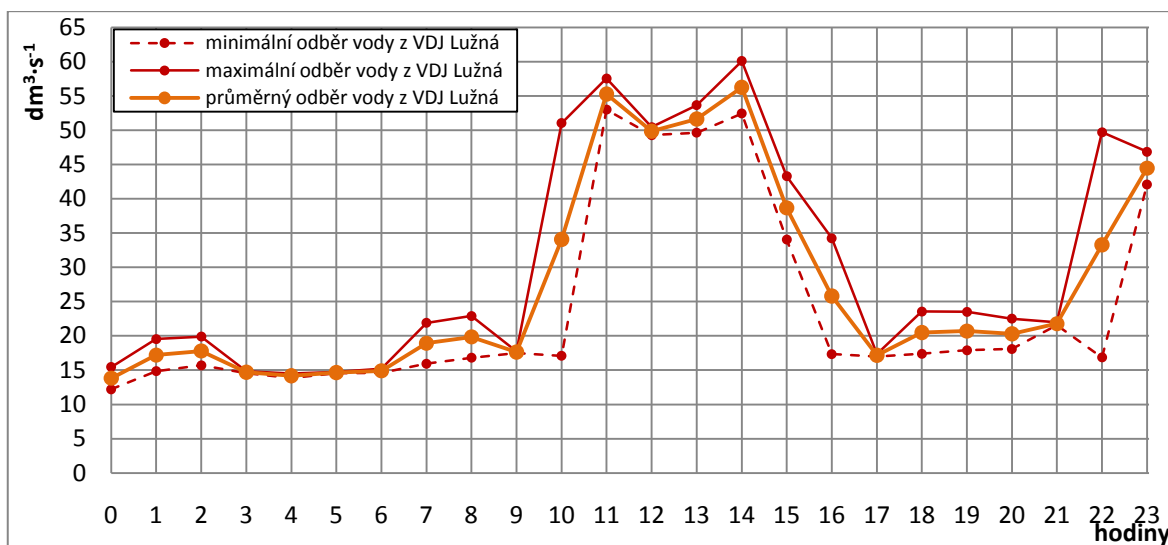
- maximální množství přečerpané pitné vody $3002,4 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, dne 26. 2. 2009
- minimální množství přečerpané pitné vody $680,8 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, dne 2. 2. 2009
- průměrné množství přečerpané pitné vody za únor je $2512,9 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$



Obr. 7.2 - Průměrné čerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc únor v roce 2009, viz. Tabulka 11.9

- maximální hodnota čerpání pitné vody $34,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dne 26. 2. 2009
- minimální hodnota čerpání pitné vody $23,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dne 2. 2. 2009
- průměrná hodnota čerpání pitné vody v únoru je $30,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

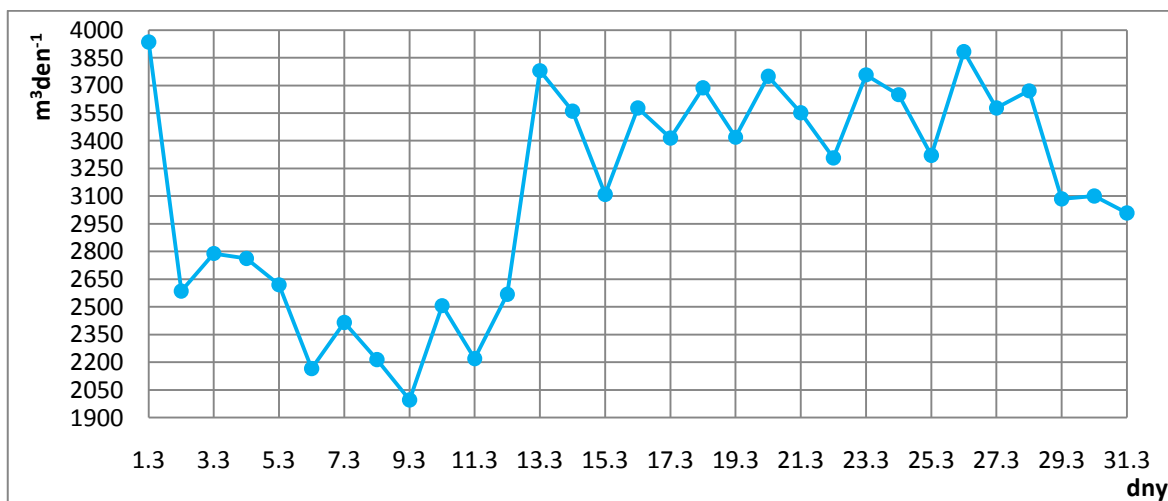
V následujícím grafu je znázorněn průběh denních odběrů pitné vody z VDJ Lužná v hodinovém intervalu.



Obr. 7.3 - Odběr pitné vody z VDJ Lužná dne 15. 2. 2009, viz. Tabulka 11.7

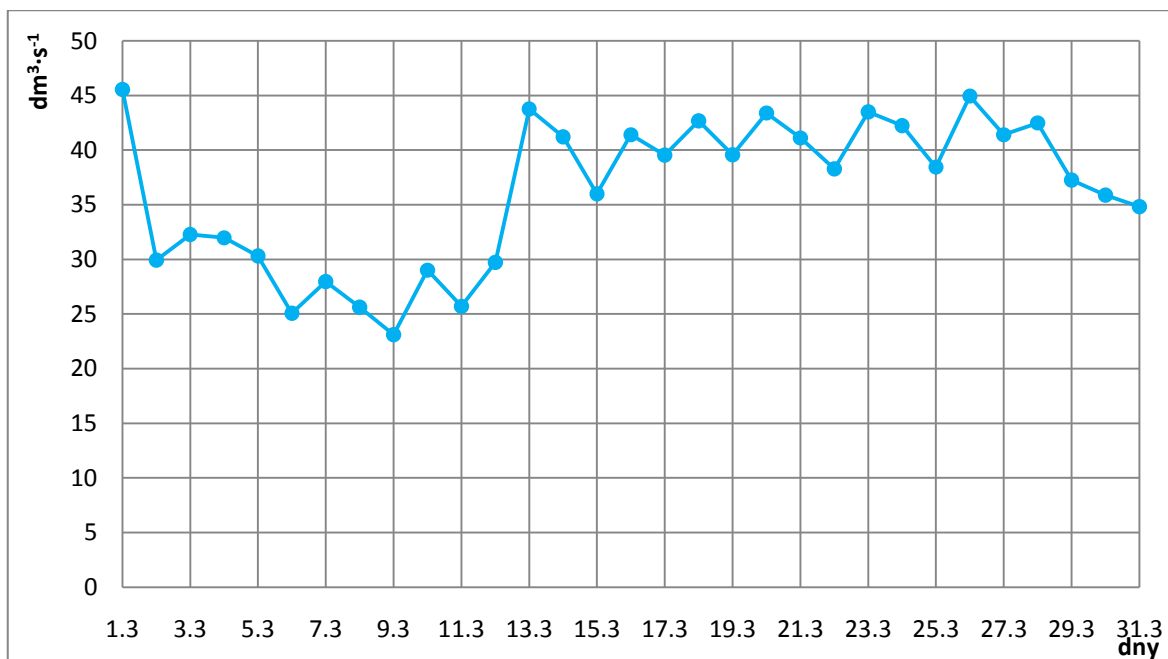
- maximální odběr pitné vody z VDJ Lužná $60,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ve 14 hodin
- minimální odběr pitné vody z VDJ Lužná $13,85 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ve 4 hodiny
- průměrná hodnota odběru pitné vody z VDJ Lužná během 24 hodin je $27,39 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V měsíci březnu bylo přečerpáno nejvíce pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná z celého roku 2009. Naměřené hodnoty jsou zakreslené v následujících grafech.



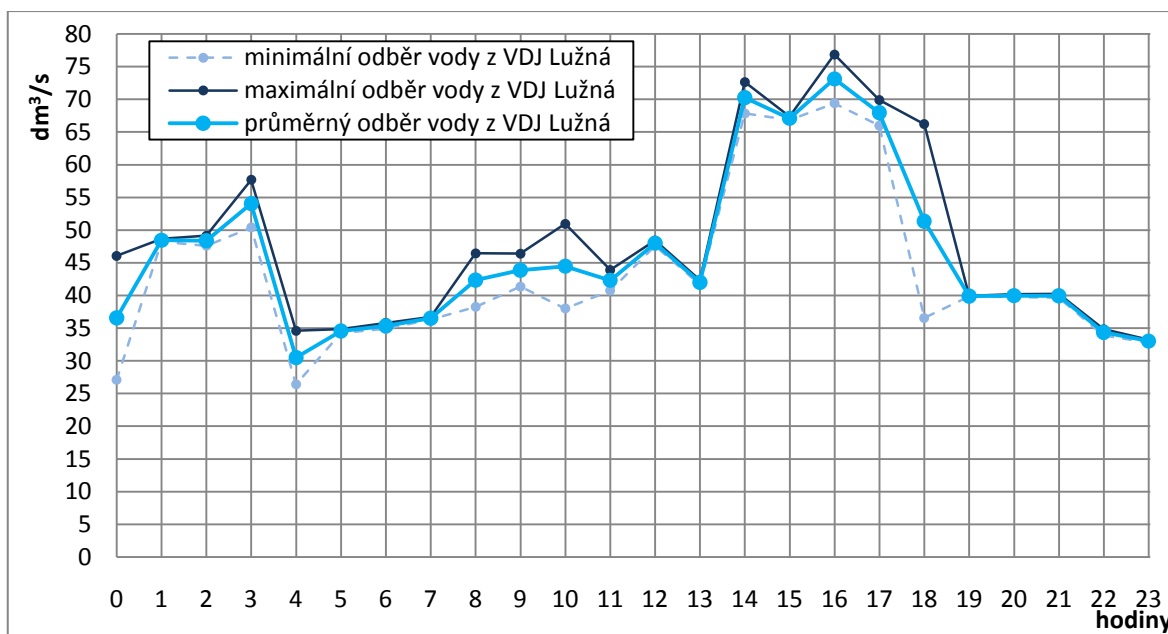
Obr. 7.4 - Množství přečerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc březen v roce 2009, viz. Tabulka 11.10

- maximální množství přečerpání pitné vody $3935,6 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, dne 1. 3. 2009
- minimální množství přečerpání pitné vody $1996,3 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$, dne 9. 3. 2009
- průměrné množství přečerpání pitné vody za březen je $3128,7 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$



Obr. 7.5 - Průměrné čerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc březen v roce 2009, viz. Tabulka 11.10

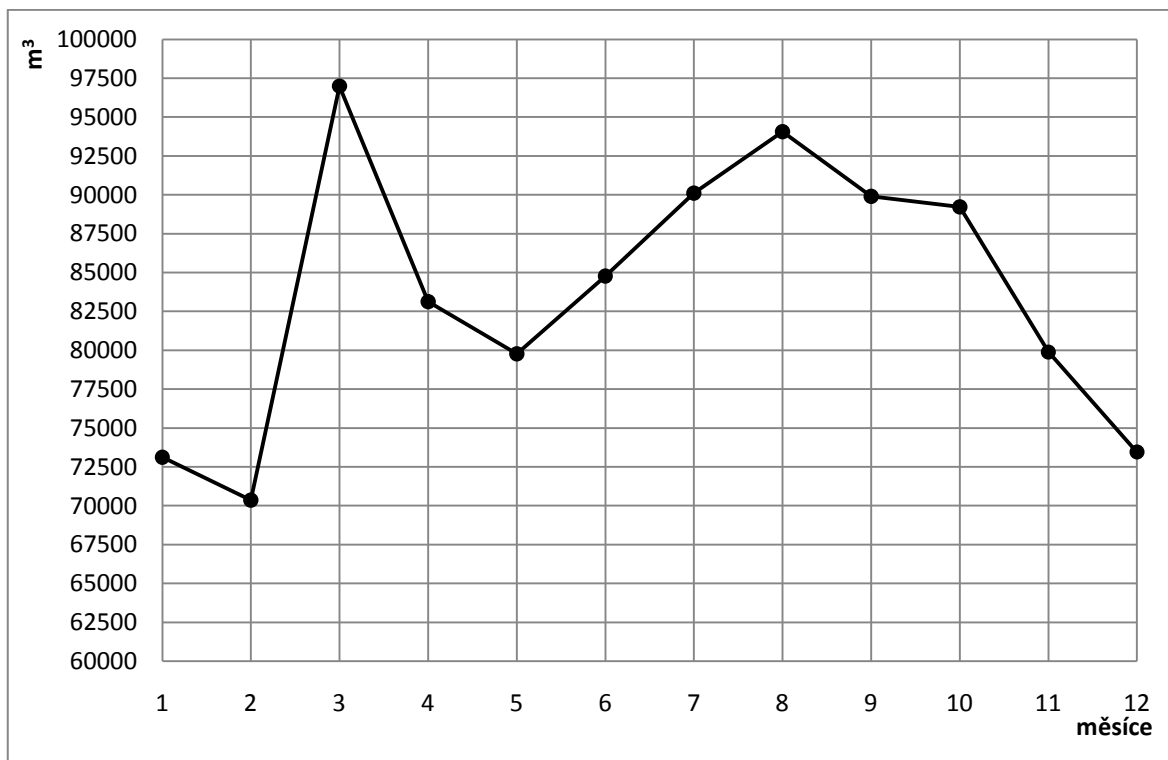
- maximální hodnota čerpání pitné vody $45,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dne 1. 3. 2009
- minimální hodnota čerpání pitné vody $23,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dne 9. 3. 2009
- průměrná hodnota čerpání pitné vody v březnu je $36,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



Obr. 7.6 - Odběr pitné vody z VDJ Lužná dne 1. 3. 2009, viz. Tabulka 11.8

- maximální odběr pitné vody z VDJ Lužná $76,85 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, v 16 hodin
- minimální odběr pitné vody z VDJ Lužná $26,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ve 4 hodiny
- průměrná hodnota odběru pitné vody z VDJ Lužná během 24 hodin je $46,02 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Následující graf znázorňuje celkové množství přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za rok 2009 v m³.



Obr. 7.7 – Celoroční čerpání pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná v roce 2009, viz.

Tabulka 11.11

- nejvíce přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná bylo v březnu, jde o množství 96990,78 m³ pitné vody
- nejméně přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná bylo v únoru, jde o množství 70361,95 m³ pitné vody
- průměrné množství přečerpané pitné vody za rok 2009 z ČS Lužná do VDJ Lužná je 83730,23 m³ pitné vody
- celkové množství přečerpané pitné vody za rok 2009 je cca 1004762 m³

V celkovém měřítku je snaha šetřit pitnou vodou, čímž klesá spotřeba pitné vody. Ale na VDJ Lužná se mají připojit další vesnice jako například Valašská Senice. Takže v následujících letech se nepředpokládá změna čerpání a odběru pitné vody z VDJ Lužná.

8 Srovnání čerpadel

	stávající	katalogový	navrhované			
	Grundfos CV 125-30	Grundfos CV 125-30	Grundfos CR 120 6-1	Vogel Pumpen MPV 125.2_3	Vogel Pumpen MPV 125.2_3 s regulací	
$Q_{v(č,p)} =$	128,52	132,42	107,27	123,18	170,07	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$W =$	69,9	64,23	50,81	58,47	88,93	$[kWh]$

Tabulka 8.1 - Hodnoty objemových průtoků a práce čerpadel

Cena elektrické energie $E = 2 \text{ Kč/kWh}$

Výpočet ceny čerpané pitné vody na 1 m^3 se stávajícím čerpadlem Grundfos CV 125-30:

$$K = \frac{E \cdot W}{Q_{vč.p}} = \frac{2 \cdot 69,9}{128,52} = 1,09 \quad [Kč \cdot m^{-3}] \quad (8.1)$$

Výpočet ceny čerpané pitné vody na 1 m^3 s katalogovým čerpadlem Grundfos CV 125-30:

$$K_1 = \frac{E \cdot W_1}{Q_{vč.}} = \frac{2 \cdot 64,23}{132,42} = 0,97 \quad [Kč \cdot m^{-3}] \quad (8.2)$$

Výpočet ceny čerpané pitné vody na 1 m^3 s navrhnutým čerpadlem Grundfos CR 120 6-1:

$$K_2 = \frac{E \cdot W_2}{Q_{vč.p}} = \frac{2 \cdot 50,81}{107,27} = 0,95 \quad [Kč \cdot m^{-3}] \quad (8.3)$$

Výpočet ceny čerpané pitné vody na 1 m^3 s navrhnutým čerpadlem Vogel Pumpen MPV 125.2_3:

$$K_3 = \frac{E \cdot W_3}{Q_{vč.p}} = \frac{2 \cdot 58,47}{123,18} = 0,95 \quad [Kč \cdot m^{-3}] \quad (8.4)$$

Výpočet ceny čerpané pitné vody na 1 m^3 s navrhnutým čerpadlem Vogel Pumpen MPV 125.2_3 s regulací:

$$K_4 = \frac{E \cdot W_4}{Q_{vč.p}} = \frac{2 \cdot 88,93}{170,07} = 1,02 \quad [Kč \cdot m^{-3}] \quad (8.5)$$

Množství přečerpáné pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná v roce 2009 je cca
 $V = 1004762 \text{ m}^3$:

Výpočet celkové ceny za přečerpání množství pitné vody v roce 2009:

Stávající Grundfos CV 125-30:

$$C = K \cdot V = 1,09 \cdot 1004762 = 1095191 \quad [\text{Kč}] \quad (8.6)$$

Katalogový Grundfos CV 125-30:

$$C_1 = K_1 \cdot V = 0,97 \cdot 1004762 = 974619 \quad [\text{Kč}] \quad (8.7)$$

Navrhovaný Grundfos CR 120 6-1:

$$C_2 = K_2 \cdot V = 0,95 \cdot 1004762 = 954524 \quad [\text{Kč}] \quad (8.8)$$

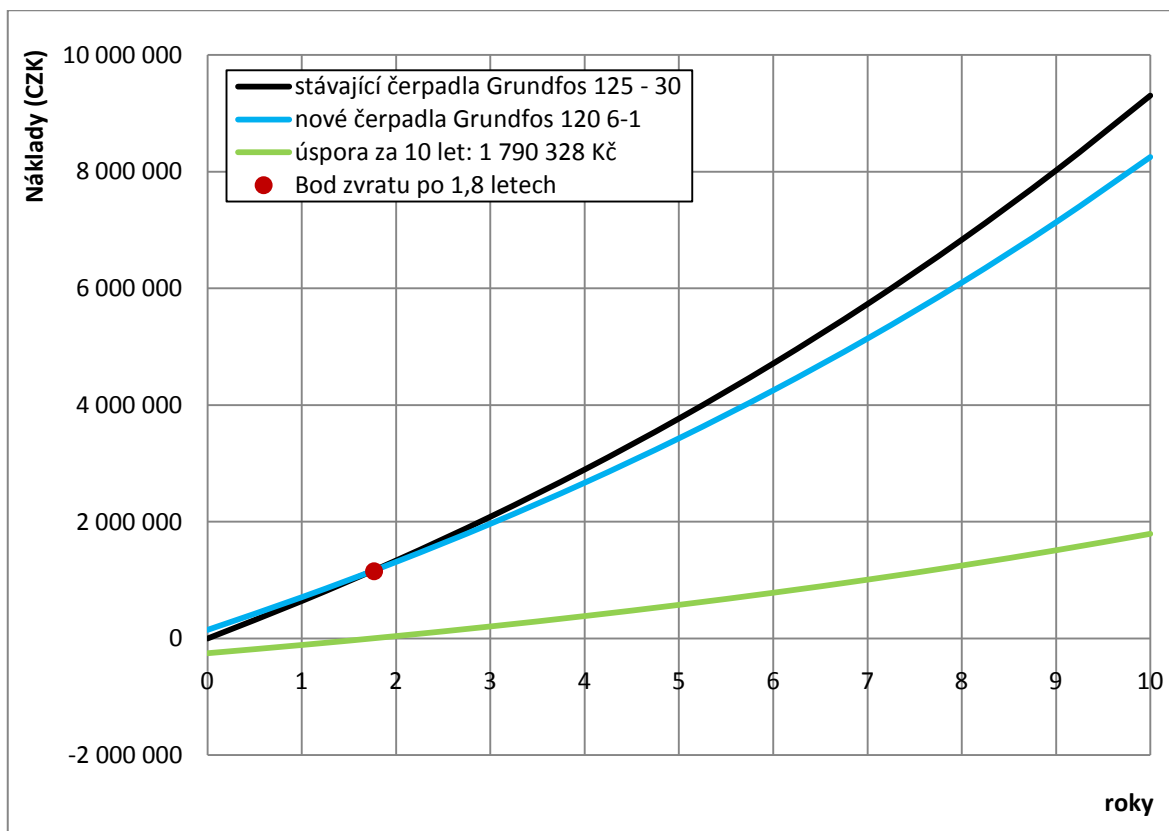
Navrhovaný Vogel Pumpen MPV 125. 2_3:

$$C_3 = K_3 \cdot V = 0,95 \cdot 1004762 = 954524 \quad [\text{Kč}] \quad (8.9)$$

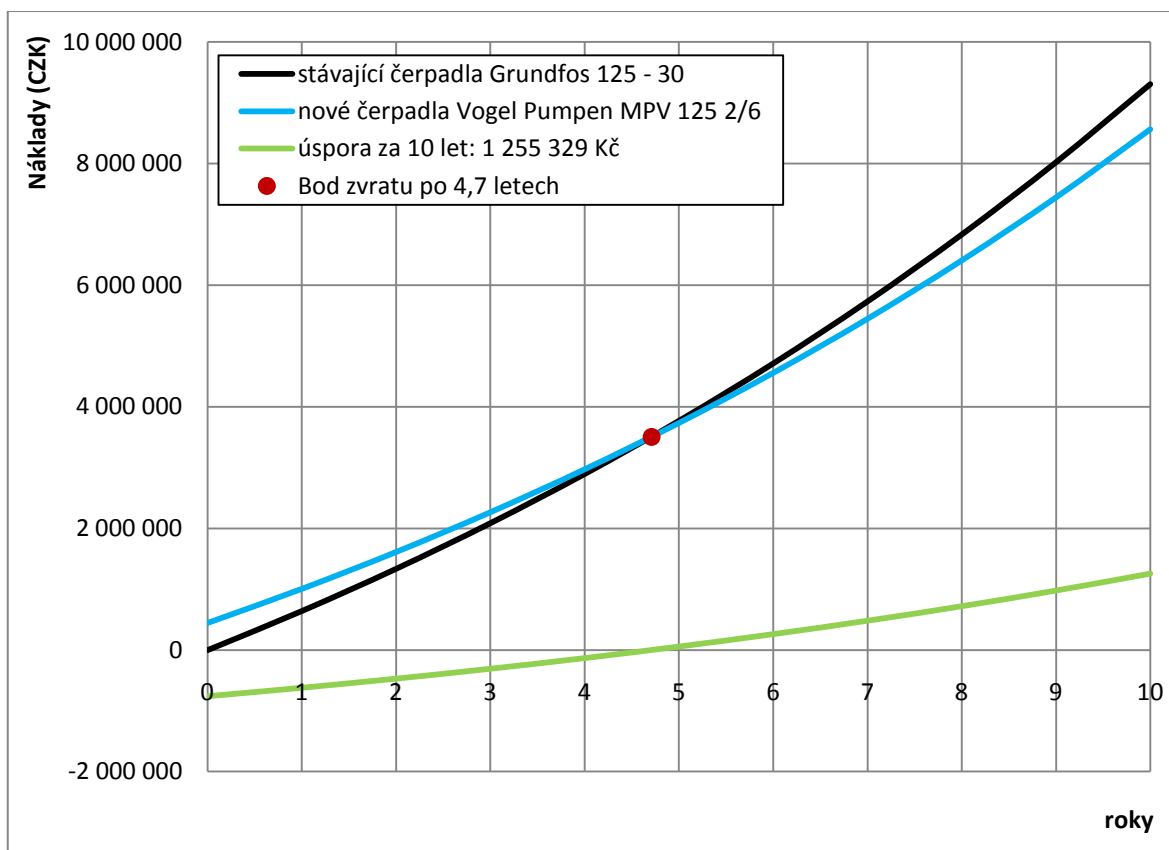
Navrhovaný Vogel Pumpen MPV 125. 2_3 s regulací:

$$C_4 = K_4 \cdot V = 1,02 \cdot 1004762 = 1024857 \quad [\text{Kč}] \quad (8.10)$$

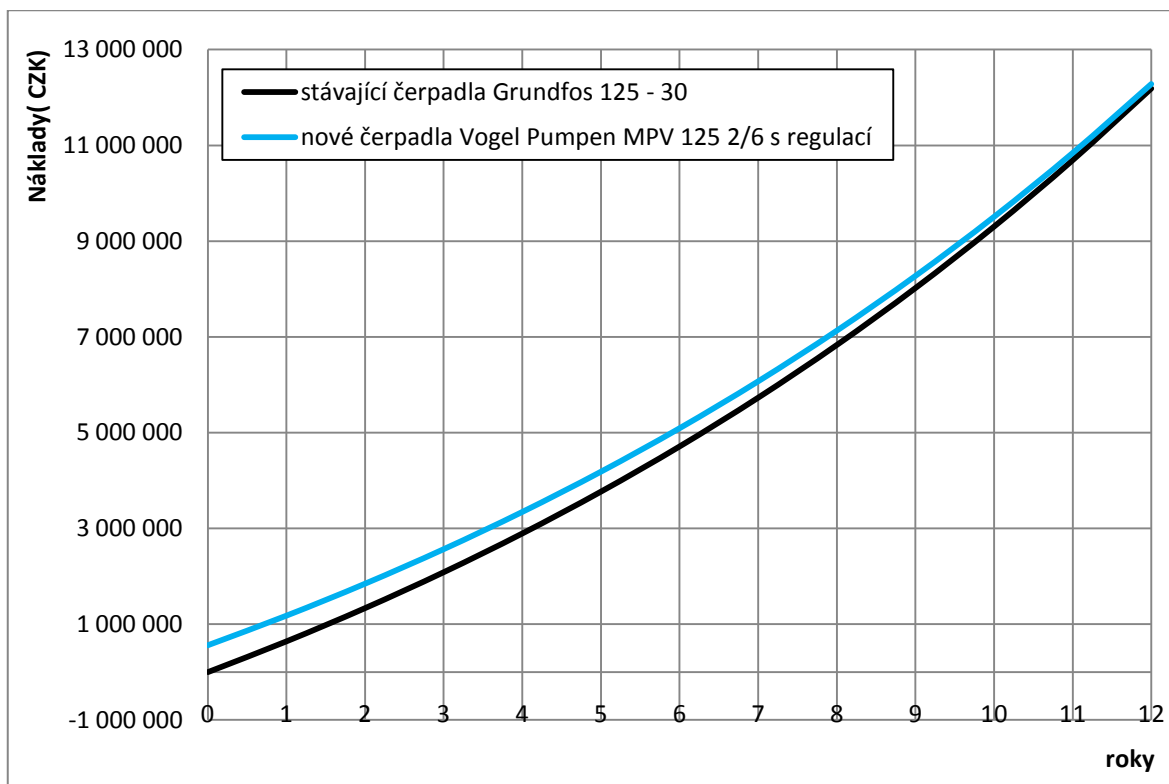
Návratnost investice vč. LCC zahrnuje vliv růstu ceny elektrické energie mezitřídě o 8 %



Obr. 8.2 – Diagram návratnosti investice čerpadel Grundfos CR 120 6-1



Obr. 8.3 – Diagram návratnosti investice čerpadel Vogel Pumpen MPV 125 2/6



Obr. 8.4 – Diagram návratnosti investice čerpadel Vogel Pumpen MPV 125 2/6 s regulací

	Grundfos CV 125-30	Grundfos CR 120 6-1	Vogel Pumpen MPV 125 2/6	Vogel Pumpen MPV 125 2/6 s regulací	
pořizovací cena	-	252080	757800	951100	Kč
bod zvratu	-	1,8	4,7	-	roků
1	1092948	951840	953863	1050785	
2	1180384	1027988	1030172	1134848	
3	1274815	1110227	1112586	1225635	
4	1375270	1197712	1200258	1322215	
5	1485292	1293529	1296278	1427992	
6	1604115	1397011	1399980	1542232	
7	1732444	1508772	1511979	1665610	
8	1871040	1629474	1632937	1798859	
9	2020723	1759832	1763572	1942768	
10	2182381	1900619	1904658	2098189	
úspora za 10 let	-	1790328	1255329	-	Kč

Tabulka 8.5 – Návratnost investice za nová čerpadla

Finančně nejlépe vychází čerpání pitné vody s čerpadly Grundfos CV 120 6-1 a Vogel Pumpen MPV 125 2/6. Cena čerpání pitné vody vychází u obou čerpadel na 0,95 Kč za 1 m³. Rozhodujícím faktorem je pořizovací cena čerpadel, která je u Grundfosu podstatně nižší než u čerpadla Vogel Pumpen.

9 Závěr

Stávající čerpadla Grundfos CV 125 – 30 pracují v nižších čerpacích parametrech blízko svého katalogového pracovního bodu, ale s vyšším příkonem. Projevuje se desetiletá práce čerpadel. V celkovém měřítku celoročního čerpání pitné vody vykazují značně vyšší hodnoty odběru elektrické energie než nově navržená řešení dvou různých čerpadel. Prvním řešením je Grundfos CR 120 6-1, které má menší parametry čerpání než stávající systém čerpadel, a však s dostatečnou rezervou na čerpání, které se projeví 10 % navýšením pracovní doby čerpadla. Grundfos CR 120 6-1 pracuje v systému ČS Lužná s nejvyšší účinností. Pořizovací cena čerpadla je 252 080 Kč, která je podstatně menší než v následujícím řešení s čerpadlem Vogel Pumpen MPV 125 2/6. V množství přečerpané pitné vody za rok 2009, která by se neměla v následujících letech měnit, se investice za čerpadlo Grundfos CR 120 6-1 měla vrátit zpět za 657 dní na ušetřené elektrické energii za čerpání. V následujících 10 letech přinese čerpadlo Grundfos CR 120 6-1 úspory na elektrické energii ve výši cca 1 790 328 Kč. Druhé řešení je už dříve zmiňované čerpadlo Vogel Pumpen MPV 125 2/6, které dodává do systému větší množství pitné vody než čerpadlo Grundfos CR 120 6-1. Celkově bude v provozu o 2,6 % více než stávající čerpadla. Nevýhodou od předchozího řešení je pořizovací cena, která je 757 800 Kč. Čerpadlo Vogel Pumpen MPV 125 2/6 je ekonomicky stejně náročné na čerpání pitné vody jako Grundfos CR 120 6-1, ale po přičtení pořizovací ceny se náklady za investici vrátí po 4,7 letech. Celkové úspory na elektrické energii v rozsahu 10 let vjdou na 1 255 329 Kč. Do výpočtu úspory elektrické energie je zahrnuta cena 2 Kč za Kilowat hodinu. A roční nárůst elektrické energie o 8 %.

Dalším řešením je řízení regulace otáček čerpadla. V systému ČS Lužná je tento způsob neekonomický. Vodojem o objemu $2 \times 650 \text{ m}^3$ představuje v systému dostatečnou rezervu pro vykrytí špičkových odběrů. V současné době pracuje převážně jedno čerpadlo, druhé se zapíná do paralelní spolupráce podle odběrů z vodojemu. Je to nejlepší způsob regulace pro daný systém. Paralelní spolupráce čerpadel se hodí pro ploché charakteristiky potrubí s vysokým podílem statické dopravní výšky, což je případ charakteristiky potrubí mezi ČS Lužná a VDJ Lužná. Způsob regulace otáček čerpadla byl vypočten pro čerpadlo Vogel Pumpen MPV 125 2/6 s vysokootáčkovým motorem a frekvenčním měničem cena se pohybuje okolo 951 100 Kč. Investice by se nevrátila ani po 12 letech čerpání pitné vody v ČS Lužná.

Poděkování:

Chtěl bych touto formou poděkovat vedoucímu skupinového vodovodu Stanovnice panu Josefu Machů, který mě provedl čerpací stanicí Lužná a poskytl mi podrobný popis této stanice. Také panu Ing. Dušanu Libosvárovi taktéž za odborný popis čerpací stanice Lužná a následnou aktivní komunikaci a poskytování podrobných informací.

Mé největší díky patří doc. Ing. Sylvě Drábkové, Ph.D za pomoc při řešení problémů, odborný dohled nad mou bakalářskou prací a její stále dobrou náladou, která mi dodávala sílu v mé práci.

Všem srdečně děkuji.

10 **Použité zdroje a literatura**

[1] DRÁBKOVÁ, Sylva; a kolektiv. *Mechanika tekutin*, VŠB – TU Ostrava 2007, skripta FS, 257 s., ISBN 978-80-248-1508-4

[2] BRADA, Karel; HLAVÍNEK, Petr. *Čerpadla ve vodním hospodářství*, NOEL 2000, Brno 2004, 195 s., ISBN 80-86020-43-6

[3] Dašek, Ivo. *Tabulky pro hydraulický výpočet vodovodního potrubí*, Nakladatelství technické literatury, Praha 1968, 138 s., Typové číslo L17 - E1 – IV - 51/7853/VI

Internetové zdroje:

[4] Dostupné na: <http://www.338.vsb.cz/Data/Dopravakapalin.zip>

(přednášky z dopravy kapalin)

[5] Dostupné na:

http://mapy.krzlinsky.cz/tms/projekty/prvkuk/texty/V7212_017_01_08941.pdf

(Obec Lužná)

[6] Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stanovnice>

(Informace o vodní nádrži Stanovnice)

[7] Dostupné na:

http://www.doos.cz/index.php/produkt/11/hydrodynamicka_cerpadla/horizontalni_clankova/cve

(Čerpadlo Sigma 150 CVE)

[8] Dostupné na: <http://www.grundfos.com/web/homecz.nsf/Webopslag/MTRA-763JZA>

(Čerpadlo Grundfos CR 120 6-1)

[9] Dostupné na:

<http://www.disa.cz/Article.asp?nDepartmentID=31&nArticleID=145&nLanguageID=1>

(Čerpadlo Vogel Pumpen MPV 125 2/6)

11 **Přílohy**

Q_v	Q_v	H	Y_ξ	P	η	$Y_{\text{čparalelně ř.}}$
$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	[m]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	[kW]	[%]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
0	0,000	176,34	1729,85	36,60	0,00	1725,20
20	0,006	175,95	1726,09	40,00	23,93	1728,30
40	0,011	173,14	1698,51	44,71	42,68	1725,84
60	0,017	168,67	1654,64	48,77	56,90	1717,81
80	0,022	162,28	1591,96	53,70	67,25	1704,23
100	0,028	153,85	1509,23	58,08	72,42	1685,08
120	0,033	143,11	1403,94	62,47	75,66	1660,38
140	0,039	129,06	1266,05	66,85	75,01	1630,11
160	0,044	112,45	1103,09	71,23	71,00	1594,29
169	0,047	104,78	1027,88	73,42	67,90	1576,35
180	0,050	-	-	-	-	1552,90
200	0,056	-	-	-	-	1505,95
220	0,061	-	-	-	-	1453,44
240	0,067	-	-	-	-	1395,37
260	0,072	-	-	-	-	1331,74
280	0,078	-	-	-	-	1262,55
300	0,083	-	-	-	-	1187,79

Tabulka 11.1 – Charakteristické hodnoty čerpadla Grundfos CV 125 -30

Q_v	Q_v	H	Y_ξ	P	η	$Y_{\text{čparalelně ř.}}$
$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	[m]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	[kW]	[%]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
0	0	164,70	1615,71	30,28	0	1615,71
20	0,006	169,35	1661,31	35,82	24,85	1661,31
40	0,011	166,36	1631,99	39,14	45,45	1647,37
60	0,017	159,06	1560,33	42,09	60,00	1639,26
80	0,022	149,26	1464,23	46,15	68,18	1623,14
100	0,028	137,80	1351,85	49,85	72,73	1599,04
120	0,033	124,52	1221,55	53,17	73,64	1566,93
140	0,039	106,09	1040,76	55,38	70,61	1526,82
160	0,044	79,69	781,79	55,75	64,24	1478,72
180	0,050	-	-	-	-	1422,61
200	0,056	-	-	-	-	1358,51
220	0,061	-	-	-	-	1286,41
240	0,067	-	-	-	-	1206,32
260	0,072	-	-	-	-	1118,22
280	0,078	-	-	-	-	1022,13
300	0,083	-	-	-	-	918,03

Tabulka 11.2 – Charakteristické hodnoty čerpadla Grundfos CR 120 6-1

Q_v	Q_v	H	Y_{ξ}	P	η	$Y_{\text{čparalelně ř.}}$
$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	[m]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	[kW]	[%]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
0	0,000	169,59	1663,73	-	-	1666,30
20	0,006	168,89	1656,77	-	-	1660,40
40	0,011	165,16	1620,26	45,00	36,67	1650,48
60	0,017	160,03	1569,85	47,65	50,00	1636,54
80	0,022	153,29	1503,79	51,18	60,00	1618,57
100	0,028	144,43	1416,86	54,71	67,33	1596,57
120	0,033	134,68	1321,25	58,24	73,33	1570,55
140	0,039	124,94	1225,63	61,32	77,00	1540,51
160	0,044	112,53	1103,94	63,53	76,67	1506,45
180	0,050	96,58	947,47	66,18	74,67	1468,36
200	0,056	78,86	773,62	67,94	70,00	1426,24
220	0,061	-	-	70,29	-	1380,10
240	0,067	-	-	72,13	-	1329,94
260	0,072	-	-	73,76	-	1275,76
280	0,078	-	-	75,19	-	1217,55
300	0,083	-	-	-	-	1155,31
320	0,089	-	-	-	-	1089,05

Tabulka 11.3 – Charakteristické hodnoty čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6

otáčky $n_1=1400\text{min}^{-1}$				
Q_{v1}	H_1	$Y_{\xi 1}$	P_1	η_1
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	[m]	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	[kW]	[%]
0,000	158,10	1550,96	-	-
0,005	157,44	1544,48	-	20,19
0,011	153,97	1510,45	40,50	35,78
0,016	149,18	1463,45	42,89	48,86
0,021	142,90	1401,86	46,06	59,44
0,027	134,64	1320,83	49,24	67,53
0,032	125,56	1231,70	52,42	73,12
0,038	116,47	1142,56	55,20	76,21
0,043	104,90	1029,11	57,18	76,80
0,048	90,04	883,26	59,56	74,89
0,054	73,52	721,19	61,15	70,48
0,059	61,88	607,00	63,27	63,58
0,064	42,21	414,12	64,92	54,17
0,070	-	-	66,39	42,27

Tabulka 11.4 – Charakteristické hodnoty čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách $n_1 = 1400 \text{ min}^{-1}$

otáčky $n_2=1550\text{min}^{-1}$				
Q_{v2}	H_2	$Y_{\xi 2}$	P_2	η_2
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	$[\text{kW}]$	$[\%]$
0,000	193,79	1901,119	-	-
0,006	192,98	1893,173	-	-
0,012	188,73	1851,455	54,9672	25,73
0,018	182,86	1793,846	58,20056	40,47
0,024	175,16	1718,357	62,51172	52,71
0,030	165,04	1619,03	66,82287	62,45
0,036	153,90	1509,771	71,13402	69,70
0,042	142,76	1400,511	74,90628	74,44
0,048	128,59	1261,453	77,60075	76,69
0,053	110,36	1082,664	80,83412	76,43
0,059	90,11	884,0104	82,98969	73,68
0,065	75,84	744,0387	85,86379	68,43
0,071	51,74	507,6167	88,10916	60,68
0,077	-	-	90,10142	50,43

Tabulka 11.5 – Charakteristické hodnoty čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách $n_2 = 1550 \text{ min}^{-1}$

otáčky $n_3=1850\text{min}^{-1}$				
Q_{v3}	H_3	$Y_{\xi 3}$	P_3	η_3
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	$[\text{m}]$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$	$[\text{kW}]$	$[\%]$
0,000	276,0707	2708,254	-	-
0,007	274,9168	2696,934	-	-
0,014	268,8588	2637,505	93,45955	-
0,021	260,4931	2555,437	98,95717	20,32
0,028	249,531	2447,899	106,2873	35,88
0,035	235,1072	2306,402	113,6175	48,95
0,043	219,2411	2150,755	120,9477	59,51
0,050	203,375	1995,109	127,3615	67,58
0,057	183,1817	1797,013	131,9429	73,15
0,064	157,219	1542,318	137,4405	76,22
0,071	128,3714	1259,324	141,1056	76,79
0,078	108,0455	1059,926	145,9924	74,87
0,085	73,71348	723,1292	149,8101	70,44
0,092	-	-	153,1975	63,52

Tabulka 11.6 – Charakteristické hodnoty čerpadla Vogel Pumpen MPV 125 2/6, při otáčkách $n_3 = 1850 \text{ min}^{-1}$

Datum	Odběr směr Lužná MIN (l/s)	Odběr směr H.Lideč MIN (l/s)	Odtok celkem MIN (l/s)	Odběr směr Lužná MAX (l/s)	Odběr směr H.Lideč MAX (l/s)	Odtok celkem MAX (l/s)	Odtok celkem průměrné (l/s)
15.02.09 00:00	0,2	12	12,2	0,3	15,15	15,45	13,825
15.02.09 01:00	0,1	14,75	14,85	0,2	19,35	19,55	17,2
15.02.09 02:00	0,1	15,6	15,7	0,1	19,8	19,9	17,8
15.02.09 03:00	0	14,55	14,55	0,1	14,75	14,85	14,7
15.02.09 04:00	0	13,85	13,85	0,1	14,4	14,5	14,175
15.02.09 05:00	0	14,55	14,55	0,1	14,65	14,75	14,65
15.02.09 06:00	0	14,6	14,6	0,1	15,1	15,2	14,9
15.02.09 07:00	0	15,95	15,95	0,1	21,8	21,9	18,925
15.02.09 08:00	0,5	16,3	16,8	1	21,9	22,9	19,85
15.02.09 09:00	1,2	16,3	17,5	1,2	16,55	17,75	17,625
15.02.09 10:00	0,9	16,2	17,1	1,1	49,95	51,05	34,075
15.02.09 11:00	0,8	52,2	53	0,8	56,75	57,55	55,275
15.02.09 12:00	0,7	48,6	49,3	0,7	49,75	50,45	49,875
15.02.09 13:00	0,7	48,95	49,65	0,7	52,95	53,65	51,65
15.02.09 14:00	0,5	51,95	52,45	0,7	59,4	60,1	56,275
15.02.09 15:00	0,5	33,55	34,05	0,5	42,8	43,3	38,675
15.02.09 16:00	0,5	16,85	17,35	0,5	33,75	34,25	25,8
15.02.09 17:00	0,6	16,4	17	0,6	16,75	17,35	17,175
15.02.09 18:00	0,7	16,7	17,4	1	22,55	23,55	20,475
15.02.09 19:00	1	16,9	17,9	1,5	22	23,5	20,7
15.02.09 20:00	0,9	17,2	18,1	1	21,5	22,5	20,3
15.02.09 21:00	0,6	20,95	21,55	0,7	21,3	22	21,775
15.02.09 22:00	0,4	16,45	16,85	0,5	49,2	49,7	33,275
15.02.09 23:00	0,1	42	42,1	0,3	46,55	46,85	44,475
průměrné hod:	0,46	23,47	23,93	0,58	29,94	30,52	27,23
max hodnoty:	1,2	52,2	53	1,5	59,4	60,1	56,275
min hodnoty:	0	12	12,2	0,1	14,4	14,5	13,825

Tabulka 11.7 – Naměřené hodnoty odběru pitné vody z VDJ Lužná 15. 2. 2009

(zdroj: Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.)

Datum	Odběr směr Lužná MIN (l/s)	Odběr směr H.Lideč MIN (l/s)	Odběr směr Lužná MAX (l/s)	Odběr směr H.Lideč MAX (l/s)	Odtok celkem MIN (l/s)	Odtok celkem MAX (l/s)	Odtok celkem průměrné (l/s)
01.03.09 00:00	0,5	26,6	0,5	45,55	27,1	46,05	36,575
01.03.09 01:00	0,5	47,75	0,5	48,15	48,25	48,65	48,45
01.03.09 02:00	0,2	47,4	0,2	48,95	47,6	49,15	48,375
01.03.09 03:00	0,2	50,2	0,2	57,5	50,4	57,7	54,05
01.03.09 04:00	0,2	26,2	0,2	34,4	26,4	34,6	30,5
01.03.09 05:00	0,2	34,05	0,2	34,65	34,25	34,85	34,55
01.03.09 06:00	0,1	34,8	0,2	35,6	34,9	35,8	35,35
01.03.09 07:00	0,2	36,15	0,3	36,4	36,35	36,7	36,525
01.03.09 08:00	0,5	37,75	1,2	45,25	38,25	46,45	42,35
01.03.09 09:00	1,2	40,15	1,2	45,2	41,35	46,4	43,875
01.03.09 10:00	1,2	36,8	1,2	49,75	38	50,95	44,475
01.03.09 11:00	1	39,75	1,1	42,8	40,75	43,9	42,325
01.03.09 12:00	0,9	46,7	1	47,4	47,6	48,4	48
01.03.09 13:00	0,7	40,95	0,8	41,55	41,65	42,35	42
01.03.09 14:00	0,5	67,35	0,7	71,95	67,85	72,65	70,25
01.03.09 15:00	0,5	66,35	0,5	66,85	66,85	67,35	67,1
01.03.09 16:00	0,4	69	0,5	76,35	69,4	76,85	73,125
01.03.09 17:00	0,5	65,5	0,5	69,4	66	69,9	67,95
01.03.09 18:00	0,6	35,95	0,7	65,5	36,55	66,2	51,375
01.03.09 19:00	0,9	38,95	0,9	39,05	39,85	39,95	39,9
01.03.09 20:00	1	38,75	1	39,2	39,75	40,2	39,975
01.03.09 21:00	0,9	38,75	1,1	39,15	39,65	40,25	39,95
01.03.09 22:00	0,3	33,6	0,6	34,25	33,9	34,85	34,375
01.03.09 23:00	0,2	32,6	0,3	32,95	32,8	33,25	33,025
průměrné hod:	0,56	43,00	0,65	47,83	43,56	48,48	46,02
max hodnoty:	1,2	69	1,2	76,35	69,4	76,85	73,125
min hodnoty:	0,1	26,2	0,2	32,95	26,4	33,25	30,5

Tabulka 11.8 – Naměřené hodnoty odběru pitné vody z VDJ Lužná 1. 3. 2009

(zdroj: Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.)

Datum	Čerpání do VDJ (m3)	Čerpání do VDJ - průměrné (l/s)	Čerpání do VDJ - max (l/s)	rychlost vody při čerpání do VDJ (m/s)	průměrná rychlost vody při čerpání do VDJ (m/s)	rychlost vody při čerpání do VDJ - max (m/s)
1.2.2009	2426,3	28,1	68,9	0,211	0,211	0,517
2.2.2009	680,8	23,6	35,7	0,059	0,177	0,268
3.2.2009	2622,1	30,4	69,0	0,228	0,228	0,518
4.2.2009	2745,1	31,8	68,4	0,238	0,238	0,513
5.2.2009	2754,5	31,9	68,7	0,239	0,239	0,515
6.2.2009	2623,7	30,4	68,9	0,228	0,228	0,517
7.2.2009	2817,1	32,6	68,8	0,245	0,245	0,516
8.2.2009	2515,4	29,1	69,0	0,218	0,218	0,517
9.2.2009	2601,7	30,1	68,5	0,226	0,226	0,514
10.2.2009	2766,2	32,0	68,9	0,240	0,240	0,517
11.2.2009	2741,2	31,7	69,0	0,238	0,238	0,518
12.2.2009	2514,1	31,7	69,4	0,218	0,238	0,520
13.2.2009	2745,0	31,8	68,4	0,238	0,238	0,513
14.2.2009	2859,5	33,1	69,0	0,248	0,248	0,518
15.2.2009	2193,1	25,4	68,6	0,190	0,190	0,514
16.2.2009	2680,6	31,0	68,5	0,233	0,233	0,514
17.2.2009	2765,3	32,0	68,6	0,240	0,240	0,514
18.2.2009	2456,1	28,4	68,6	0,213	0,213	0,514
19.2.2009	2567,4	29,7	68,6	0,223	0,223	0,514
20.2.2009	1361,2	29,1	68,3	0,118	0,218	0,512
21.2.2009	2345,9	32,6	68,9	0,204	0,244	0,517
22.2.2009	2718,1	31,5	68,7	0,236	0,236	0,515
23.2.2009	2328,1	27,0	68,4	0,202	0,202	0,513
24.2.2009	2597,6	30,1	68,2	0,226	0,225	0,512
25.2.2009	2140,3	24,8	68,5	0,186	0,186	0,514
26.2.2009	3002,4	34,8	68,8	0,261	0,261	0,516
27.2.2009	2914,4	33,7	68,8	0,253	0,253	0,516
28.2.2009	2879,0	33,3	68,4	0,250	0,250	0,513
prům. hodnoty:	2512,9	30,4	67,5	0,218	0,228	0,506
max. hodnoty:	3002,4	34,8	69,4	0,261	0,261	0,520
min. hodnoty:	680,8	23,6	35,7	0,059	0,177	0,268

Tabulka 11.9 – Naměřené hodnoty přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc únor roku 2009 (zdroj: Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.)

Datum	Čerpání do VDJ (m ³)	Čerpání do VDJ - průměrné (l/s)	Čerpání do VDJ - max (l/s)	rychlost vody při čerpání do VDJ (m/s)	průměrná rychlost vody při čerpání do VDJ (m/s)	rychlost vody při čerpání do VDJ - max (m/s)
1.3.2009	3935,6	45,6	68,5	0,342	0,342	0,514
2.3.2009	2586,1	29,9	68,8	0,225	0,225	0,516
3.3.2009	2789,3	32,3	68,6	0,242	0,242	0,515
4.3.2009	2762,6	32,0	68,5	0,240	0,240	0,514
5.3.2009	2619,6	30,3	68,8	0,227	0,227	0,516
6.3.2009	2165,7	25,1	35,7	0,188	0,188	0,268
7.3.2009	2415,4	28,0	68,5	0,210	0,210	0,514
8.3.2009	2214,0	25,6	35,5	0,192	0,192	0,266
9.3.2009	1996,3	23,1	35,8	0,173	0,173	0,268
10.3.2009	2506,7	29,0	68,4	0,218	0,218	0,513
11.3.2009	2220,1	25,7	35,4	0,193	0,193	0,265
12.3.2009	2568,6	29,7	68,7	0,223	0,223	0,515
13.3.2009	3780,0	43,8	69,0	0,328	0,328	0,518
14.3.2009	3560,8	41,2	68,9	0,309	0,309	0,517
15.3.2009	3109,6	36,0	68,5	0,270	0,270	0,514
16.3.2009	3577,3	41,4	68,9	0,311	0,311	0,517
17.3.2009	3415,2	39,5	68,5	0,296	0,297	0,514
18.3.2009	3686,7	42,7	69,4	0,320	0,320	0,521
19.3.2009	3419,1	39,6	68,8	0,297	0,297	0,516
20.3.2009	3749,1	43,4	68,7	0,325	0,325	0,515
21.3.2009	3552,1	41,1	68,6	0,308	0,308	0,514
22.3.2009	3307,7	38,3	68,8	0,287	0,287	0,516
23.3.2009	3757,1	43,5	69,1	0,326	0,326	0,519
24.3.2009	3649,5	42,2	69,1	0,317	0,317	0,518
25.3.2009	3320,9	38,4	69,0	0,288	0,288	0,518
26.3.2009	3882,9	44,9	69,2	0,337	0,337	0,519
27.3.2009	3577,3	41,4	69,2	0,311	0,311	0,519
28.3.2009	3670,6	42,5	68,9	0,319	0,319	0,517
29.3.2009	3085,4	37,3	69,1	0,268	0,279	0,518
30.3.2009	3100,3	35,9	68,5	0,269	0,269	0,514
31.3.2009	3009,3	34,8	68,5	0,261	0,261	0,514
prům. hodnoty:	3128,7	36,3	64,5	0,272	0,272	0,484
max. hodnoty:	3935,6	45,6	69,4	0,342	0,342	0,521
min. hodnoty:	1996,3	23,1	35,4	0,173	0,173	0,265

Tabulka 11.10 – Naměřené hodnoty přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za měsíc březen roku 2009 (zdroj: Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.)

	počet dní	přečerpané množství vody v (m ³)
Leden	31	73117,45
únor	28	70361,95
Březen	31	96990,78
Duben	30	83125,16
Květen	31	79766,78
Červen	30	84777,1
Červenec	31	90100,11
Srpen	31	94057,59
Září	30	89900,76
Říjen	31	89224,69
Listopad	30	79884,56
Prosinec	31	73455,85
celkem	365	1004847,08

Tabulka 11.11 – Celkové množství přečerpané pitné vody z ČS Lužná do VDJ Lužná za rok 2009